670-017-51-01
Febrero 19, 1997

John T. Leary
Gerente de Proyecto
Asociación de Gobernadores del Oeste
600 17th Street
Suite 1705, South Tower
Denver, CO 80202

Asunto: Entrega de la versión final del Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Vehículos Automotores para el Proyecto de Metodología para el Inventario de Emisiones de México

Estimado John:

Anexa se encuentra una copia final del Volumen VI de los Manuales para el Programa del Inventario de Emisiones de México, *Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Vehículos Automotores.* Este es el tercer documento final que hemos desarrollado en nuestra serie de manuales de inventarios de emisiones Adicionalmente, estamos entregando al INE un "master" impreso por un lado y una versión electrónica (MS Word 6.0) de este documento para facilitar los esfuerzos de reproducción y traducción posteriores.

En caso de que existieran dudas o comentarios acerca del material que se anexa, por favor comuníquese conmigo al (916) 857-7467.

Atentamente

Ronald J. Dickson
Ingeniero Senior

cc: Víctor Hugo Páramo, INE (cinco copias)
Comité Asesor Binacional
José Ortega, Corporación Radian
Jim Yarbrough, U.S. EPA Región VI
Archivo del Proyecto.

DCN 96-670-017-04
RCN 670-017-51-01

MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO

VOLUMEN VI - DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE VEHICULOS AUTOMOTORES

FINAL

Elaborado para:

La Asociación de Gobernadores del Oeste
Denver, Colorado

y

El Comité Asesor Binacional

Elaborado por:

Radian International
10389 Old Placerville Road
Sacramento, CA 95827

Febrero 19, 1997

PREFACIO

La contaminación del aire puede tener impactos negativos sobre la salud pública cuando su concentración en la atmósfera alcanza niveles significativos. En la mayor parte de las áreas rurales los problemas de calidad del aire se dejan sentir sólo en raras ocasiones, mientras que muchos ambientes urbanos con frecuencia registran elevadas concentraciones de contaminantes. Durante los últimos años, México ha tenido un gran crecimiento en la urbanización y en la actividad industrial, lo que ha generado serias preocupaciones acerca de la calidad del aire en diversas regiones del país.

La contaminación del aire resulta de una compleja mezcla de miles de fuentes, desde las chimeneas industriales y los vehículos automotores, hasta el uso individual de productos de aseo, limpiadores domésticos y pinturas; incluso la vida animal y vegetal puede jugar un papel importante en el problema de la contaminación. Debido a la compleja naturaleza de la contaminación del aire, se requieren planes regionales detallados para identificar las fuentes de emisión, así como el desarrollo de métodos para reducir el impacto sobre la salud ocasionado por la exposición a los contaminantes. Entre algunos ejemplos de las actividades para la gestión de la calidad del aire destacan:

- La aplicación de modelos de calidad del aire
- El estudio de las fuentes emisoras de contaminantes para analizar el control de emisiones, cuando así se requiera
- El desarrollo de proyecciones de las emisiones para identificar cambios potenciales en la futura calidad del aire
- El análisis de las tendencias de emisión
- El análisis del transporte de las emisiones de una región a otra.

El desarrollo de inventarios de emisión bien fundamentados es un aspecto clave en cada una de estas funciones de la gestión de la calidad del aire.

El cálculo de estimaciones de emisión que cumplan con las necesidades de la gestión de la calidad del aire requiere de un desarrollo y refinamiento continuos; por lo tanto, los esfuerzos para elaborar inventarios "a un tiempo" no son adecuados para dicho proceso de gestión. Con el objetivo de tener un beneficio de larga duración, es necesario instrumentar un *programa de inventarios* que haga posible el desarrollo de estimaciones exactas de las emisiones para todas las regiones geográficas de importancia; que tenga la capacidad de ser refinado con el paso del tiempo, y que pueda aplicarse efectivamente en los procesos de gestión y monitoreo de la calidad del aire. Es por estas razones que se está desarrollando un conjunto de manuales de inventarios de emisiones que puedan ser aplicados en todo el país, para ayudar a coordinar la generación de estimaciones de emisión consistentes. Estos manuales se han diseñado para ser utilizados por las autoridades locales, estatales y federales, así como por la industria y los consultores privados. El propósito de estos manuales consiste en apoyar el proceso de instrumentación del programa de inventarios y su mantenimiento a lo largo del tiempo, de manera tal que los inventarios de emisiones puedan ser desarrollados periódicamente y mejorados de manera continua.

Los manuales comprenden elementos del programa de inventarios tales como la estimación de emisiones, la planeación del programa, manejo de bases de datos, validación de emisiones y otros temas relevantes. La Figura 1 muestra la serie completa de manuales que serán desarrollados para apoyar la instrumentación de un programa de inventarios de largo alcance. A continuación se resume el propósito principal de cada manual.

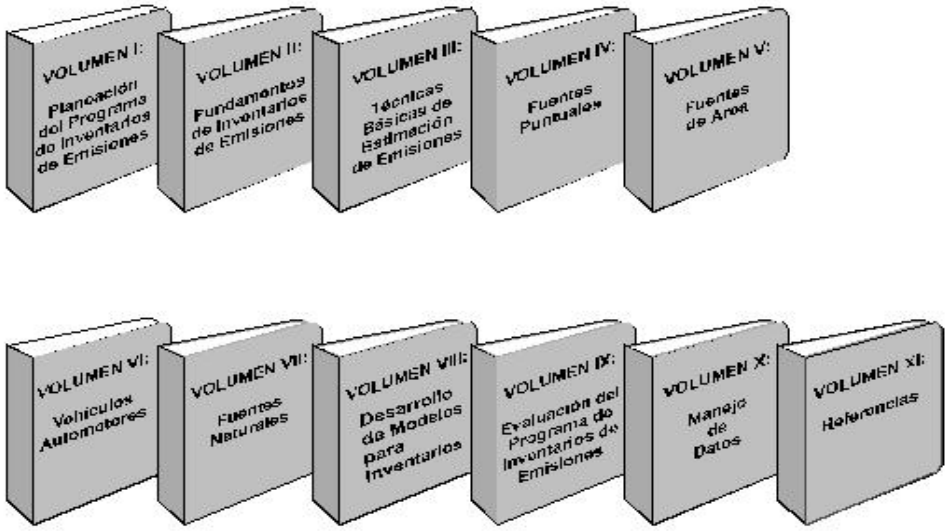

Figura 1. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México

Volumen I - Planeación del Programa de Inventarios de Emisiones. Este manual presenta los aspectos de gestión que deben ser considerados en un programa de inventario de emisiones al aire. La planeación del programa no se presenta como una actividad "terminal", sino más bien como un proceso continuo para asegurar tanto el crecimiento en el largo plazo como el éxito del programa de inventarios. *Temas Clave:* propósito del programa; usos finales del inventario; requerimientos regulatorios; coordinación en los niveles federal, estatal y local; requerimientos de personal y de manejo de datos; identificación y selección de estudios especiales.

Volumen II - Fundamentos de los Inventarios de Emisiones. Este manual presenta los fundamentos básicos para el desarrollo de inventarios de emisiones, así como los elementos que son aplicables a los diversos tipos de fuentes (e. g., puntuales y de área), para evitar la necesidad de que sean repetidos en varios volúmenes. *Temas Clave*: regulaciones aplicables; efectividad de la regla; penetración de la regla; definiciones sobre contaminantes (exclusión de compuestos volátiles no reactivos); delimitación de las fuentes puntuales y de área; reconciliación de las fuentes puntuales y de área.

Volumen III - Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones (TBEEs). Este manual presenta las metodologías básicas utilizadas para hacer estimaciones de emisiones, incluyendo ejemplos y cálculos. Por otro lado las herramientas para la elaboración de inventarios asociadas con cada metodología se identifican e incluyen en el Volumen XI (Referencias). *Temas Clave*: muestreo en la fuente, modelos de emisiones, encuestas, factores de emisión, balance de materiales y extrapolación.

Volumen IV - Fuentes Puntuales. Este manual contiene las guías para elaborar inventarios de emisiones de fuentes puntuales. Incluye una tabla de referencias cruzadas para cada combinación de industria y tipo de dispositivo (e. g., refinación de petróleo y dispositivos de combustión), con una o más de las metodologías básicas presentadas en el Volumen III. *Temas Clave:* tabla de referencias cruzadas; parámetros de chimenea; dispositivos de control; consideraciones de diseño y de proceso; diferencias geográficas y variabilidad en México; aseguramiento y control de calidad (AC/CC); procesos omitidos; referencias de datos y formas para recopilación de datos.

Volumen V - Fuentes de Area (incluyendo fuentes móviles que no circulan por carreteras). Este manual contiene los lineamientos para el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área. Además de presentar información general sobre las fuentes de área, contiene una tabla de referencias cruzadas entre cada categoría de fuente de área (e. g., aplicación de asfalto) con una o más de las metodologías básicas incluidas en el Volumen III. Posteriormente, se discute la información específica para cada categoría de fuente definida en la tabla. *Temas Clave:* clasificación y definición de fuentes de área; tabla de referencias cruzadas; factores de control; diferencias geográficas y variabilidad en México; AC/CC; referencias de datos y formas para recopilación de datos (cuestionarios).

Volumen VI - Vehículos Automotores. Debido a que los vehículos automotores son intrínsecamente diferentes a las fuentes puntuales y a las de área, tanto los métodos de estimación disponibles como los datos requeridos son también diferentes. Los modelos son las herramientas preferidas para estimar las emisiones de estas complejas fuentes. Muchos de estos modelos utilizan datos de largas pruebas aplicables a un país o a una región determinados. Este manual se enfoca principalmente en la fase de levantamiento de datos para la estimación de emisiones de vehículos automotores. *Temas Clave:* métodos de estimación disponibles; datos e información primarios, secundarios y terciarios; clasificación de fuentes; fuentes de emisión; variabilidad geográfica dentro de México y AC/CC.

Volumen VII - Fuentes Naturales. Este manual proporciona los lineamientos para el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes naturales (e. g., compuestos orgánicos volátiles biogénicos [COVs] y óxidos de nitrógeno [NO_x]) en suelos. Además, incluye los aspectos teóricos de los cálculos de emisiones y la discusión de modelos específicos. *Temas Clave:* clasificación y definición de fuentes; mecanismos de emisión; algoritmos básicos de emisión; determinación de biomasa; desarrollo de datos de uso y cobertura del suelo; ajustes temporales y meteorológicos, y enfoques para el cálculo de emisiones.

Volumen VIII - Desarrollo de Modelos para Inventarios. Este manual proporciona los lineamientos para el desarrollo de datos de inventarios que serán utilizados en modelos de calidad del aire, y trata aspectos tales como la localización temporal y espacial, la especiación y proyección de estimaciones de emisiones. *Temas Clave:* definición de términos de modelado; ajuste estacional; localización temporal y espacial; especiación química y proyecciones (factores de crecimiento y control).

Volumen IX - Evaluación del Programa de Inventarios de Emisiones. Este manual consta de tres partes: AC y CC, análisis de incertidumbre y verificación de emisiones. La parte de AC y CC define el programa global de aseguramiento y control de calidad, y ha sido escrito para complementar los procedimientos de AC y CC para las fuentes específicas que se presentan en otros manuales. El análisis de incertidumbre no sólo incluye los métodos para evaluar la incertidumbre en las estimaciones de emisiones, sino también para evaluarla en los valores de modelado tales como los perfiles de especiación y los factores de proyección de emisiones. La sección de verificación de emisiones describe varios análisis para evaluar la exactitud de las estimaciones. Los ejemplos incluyen modelos de receptor y análisis de trayectoria, combinados con técnicas específicas para el análisis de datos. *Temas Clave:* descripción de conceptos y definición de términos; protocolo de revisión de inventarios; evaluación de integridad, exactitud y consistencia; metodologías recomendadas para el manejo de la incertidumbre, y metodologías aplicables para la verificación de emisiones.

Volumen X - Manejo de Datos. Este manual trata de las necesidades asociadas con los aspectos del manejo de datos del programa nacional de inventarios de emisiones de México. *Temas Clave:* sistemas y herramientas generales para el manejo de datos; sistemas y herramientas de software específicos; sistemas de programación; confidencialidad; presentación electrónica; frecuencia de actualizaciones, mantenimiento de registros; bases de datos específicas de México y elaboración de informes.

Volumen XI - Referencias. Este manual es un compendio de las herramientas que pueden utilizarse en el desarrollo de un programa de inventarios de emisiones. Se incluyen las herramientas citadas en los otros manuales para hacer inventarios (e. g., documentos impresos y electrónicos, así como modelos de computadora).

CONTENIDO

Sección **Pág.**

PREFACIO i

1.0 INTRODUCCION 1-1

1.1 Procesos de Emisión en los Vehículos que Circulan por Carretera 1-3
1.2 Tipos de Vehículos en México 1-5

2.0 PANORAMA GENERAL DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL INVENTARIO 2-1

2.1 Metodología Básica para la Estimación de Emisiones 2-4
2.2 Prioridades en el Desarrollo de Datos 2-5

3.0 MODELOS DE FACTORES DE EMISION PARA VEHICULOS AUTOMOTORES 3-1

3.1 Antecedentes Históricos de los Modelos de Factores de Emisión 3-2
3.2 Descripción Teórica de los Modelos de Factores de Emisión 3-6
3.3 Formatos de Entrada y Salida de MOBILE 3-11
3.4 Efecto de las Características Locales 3-16
3.4.1 Características Regionales que Afectan a los Factores de Emisión ... 3-16
3.4.2 Características del Parque Vehicular 3-35

4.0 DESARROLLO DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD 4-1

4.1 Estimaciones de KRV Basadas en el Tráfico 4-2
4.1.1 Estimaciones de los KRV a Partir de los Modelos de Demanda de Recorrido 4-2
4.1.2 Estimación de los KRV Regionales 4-4
4.2 Estimación de los KRV Derivada de los Datos de Consumo de Combustible 4-6

5.0 PROCEDIMIENTOS DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD..... 5-1

5.1 Comparación de las Emisiones de Vehículos Automotores con el Inventario General 5-2
5.2 Comparación de las Emisiones Per Cápita 5-4
5.3 Comparación de las Emisiones vs. KRV 5-8
5.4 Comparación de los Datos de Actividad de los Vehículos Automotores contra las Estadísticas de Consumo de Combustible 5-8
5.5 Estudios de Detección Remota de las Emisiones del Escape 5-10
5.6 Uso de los Datos del Muestreo Ambiental 5-14
5.6.1 Modelado para Determinar la Exposición del Receptor..... 5-15
5.6.2 Relaciones de las Muestras Ambientales 5-17
5.6.3 Modelos Tridimensionales..... 5-18

6.0 REFERENCIAS..... 6-1

APENDICE A: EJEMPLO DEL CALCULO DE EMISIONES DE VEHICULOS AUTOMOTORES

FIGURAS Y TABLAS

Figuras **Pág.**

1 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México iii

1-1 Procesos de Emisión en Vehículos Automotores 1-4

2-1 Desarrollo del Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores que Circulan por Carretera 2-2

3-1 Tasas Básicas de Emisión Hipotéticas (TBEs) 3-9

3-2 Ejemplo del Archivo de Entrada de MOBILE 3-12

3-3 Ejemplo del Archivo de Salida de MOBILE 3-13

3-4 Ejemplo de los Parámetros de Temperatura en MOBILE 3-17

3-5 Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOTs, NO_x y CO con Temperatura Ambiente Variable 3-19

3-6 Ejemplo de los Parámetros de Altitud en MOBILE 3-21

3-7 Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOTs, NO_x y CO en Altitudes Bajas y Altas 3-22

3-8 Ejemplo de los Parámetros PVR de la Gasolina en MOBILE 3-24

3-9 Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOT, NO_x y CO con PVRs Variables 3-25

3-10 Ejemplo de los Parámetros del Combustible Oxigenado en MOBILE 3-26

3-11 Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOT, NO_x y CO con y sin Combustibles Oxigenados 3-28

3-12 Ejemplo de Parámetros I/M en MOBILE 3-31

3-13 Factores de Emisión de CO para Vehículos Ligeros a Gasolina en Tres Escenarios I/M..... 3-32

3-14 Ejemplo de los Parámetros PAA en MOBILE..... 3-36

3-15 Factores de Emisión de CO para Vehículos Ligeros a Gasolina en Tres Diferentes Escenarios PAA..... 3-37

3-16 Ejemplo de las Velocidades Promedio en MOBILE..... 3-39

3-17 Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOT, NO_x y CO con Velocidad Vehiculares Variables..... 3-40

3-18 Correspondencia de los Nuevos Estándares de Emisión de México con las Clases Vehiculares del Modelo MOBILE..... 3-45

3-19 Distribuciones de los KRVs en Monterrey y Ciudad Juárez..... 3-46

5-1 Emisiones de Vehículos Automotores Per Cápita en 12 Estados del Oeste de EU para 1990: AZ, CA, CO, ID, MT, NV, NM, OR, TX, UT, WA, WY 5-5

5-2 Relaciones entre las Emisiones de Vehículos Automotores, KRVs y Población, Proyectadas para 1999 en 43 Condados en la Parte Central de Georgia..... 5-7

5-3 Emisiones de Vehículos Automotores vs. KRVs proyectadas para 1999 en 43 Condados en la Parte Central de Georgia..... 5-9

Tablas **Pág.**

3-1 Definición de Hidrocarburos..... 3-2

3-2 Matriz de Equivalencia de la Tecnología de Control de Emisiones Típica..... 3-4

5-1 Contribución Relativa de las Emisiones de Vehículos Automotores en las Estimaciones de Emisiones Antropogénicas Generales en Ciudades Seleccionadas..... 5-3

5-2 Comparación de las Relaciones Ambientales y del Inventario de CO/NO_x y $GONM/NO_x$ para Los Angeles, Datos de 1987..... 5-17

ACRONIMOS

AC	Aseguramiento de calidad
ATPFLG	Bandera del Programa Anti-Alteraciones
C_3H_8	Propano
CARB	California Air Resources Board *(Consejo de Recursos del Aire de California)*
CC	Control de calidad
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Bióxido de carbono
CONM	Compuestos orgánicos no metánicos
COVs	Compuestos orgánicos volátiles
DIF	Detector por ionización de flama (*Flame Ionization Detector*)
FECO	Factor de emisión del parque vehicular compuesto
EU	Estados Unidos
FEAT	*Fuel Efficiency Automobile Test* (Prueba de Rendimiento del Combustible en Automóviles)
FEB	Factor de emisión básica
g	Gramo
GLP	Gas licuado de petróleo (gas LP)
GOR	Gases orgánicos reactivos
GONM	Gases orgánicos no metánicos

GOT	Gases orgánicos totales
GRF	Gasolina reformulada
HC	Hidrocarburo
HCNM	Hidrocarburos no metánicos
HCT	Hidrocarburos totales
HDDV	Vehículos pesados a diesel (>3,857 kg) (*Heavy Duty Diesel Vehicle*)
HDGV	Vehículos pesados a gasolina (>3,857 kg) (*Heavy Duty Gasoline Vehicle*)
I/M	Inspección y mantenimiento
IMFLAG	Bandera de I/M
INE	Instituto Nacional de Ecología
IR	Infrarrojo
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
kph	Kilómetro por hora
KRV	Kilómetros recorridos por vehículo
LDDT	Camión ligero a diesel (<3,857 kg) (*Light Duty Diesel Truck*)
LDDV	Vehículo ligero a diesel (*Light Duty Diesel Vehicle*)
LDGT1	Camión ligero a gasolina (<2,727 kg) (*Light Duty Gasoline Truck*)
LDGT2	Camión ligero a gasolina (2,727 - 3,857 kg)
LDGV	Vehículo ligero a gasolina (*Light Duty Gasoline Vehicle*)

MBMQ	Modelo de Balance de Masa Química
MARI	*Mexico City Air Quality Research Initiative* (Iniciativa de Investigación de la Calidad del Aire en la Ciudad de México)
MC	Motocicleta
MDR	Modelo de demanda de recorrido
Mg	Megagramo
mph	Millas por hora
NMHFLG	Bandera del factor de emisión de hidrocarburos
NO_x	Oxidos de nitrógeno
OMS	*Office of Mobile Sources* (Oficina de Fuentes Móviles)
OUTFMT	Bandera del formato de salida
OXYFLG	Bandera de combustible oxigenado
PAA	Programa Anti-Alteraciones *(Anti-Tampering Program)*
PAL	Parámetro de área local
PBV	Peso Bruto Vehicular (*Gross Vehicle Weight)*
Pemex	Petróleos Mexicanos
PM	Material particulado (partículas)
PM_{10}	Partículas de diámetro aereodinámico menor o igual a 10 micras
$PM_{2.5}$	Partículas de diámetro aereodinámico menor o igual a 2.5 micras
ppm	Partes por millón

psi	Libras por pulgada cuadrada
SDR	Sensibilidad y detección remota
PVP	Presión de vapor de Reid
RGE	Recirculación del gas del escape
SCAQS	*South Coast Air Quality* Study (Estudio de la Calidad del Aire de la Costa Sur)
SEMOS	*Southeast Michigan Ozone Study* (Estudio del Ozono del Sureste de Michigan)
SO_x	Oxidos de azufre
TAMFLG	Bandera de alteración
TBE	Tasa básica de emisión
TEMFLG	Bandera de temperatura
TTI	*Texas Transportation Institute* (Instituto del Transporte de Texas)
US EPA	*United States Environmental Protection Agency* (Agencia para la Protección Ambiental de EU)
VPC	Ventilación positiva del cárter
wt	Peso (*weight*)

1.0 INTRODUCCION

Este manual abarca el desarrollo de estimaciones de emisión para vehículos automotores en circulación, tales como autos, camiones y autobuses. En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores participan de manera significativa en las emisión de gases orgánicos totales (GOTs), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno, (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), partículas (PM), gases tóxicos del aire y especies reductoras de la visibilidad. Debido a la gran magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales que se requieren para el desarrollo de estimaciones de emisión, los vehículos automotores son manejados de manera independiente a otras fuentes de área.

El creciente interés en generar estimaciones de la contribución de los vehículos automotores a los inventarios regionales de emisión en México, ha conducido al desarrollo de inventarios de emisión para las ciudades de México, Monterrey, Ciudad Juárez y León (Espinosa, et al., 1996). Los datos disponibles para desarrollar estos inventarios han variado de manera considerable; sin embargo, través de las técnicas mejoradas para la recopilación de datos y las metodologías de estimación, los futuros esfuerzos de inventario incrementarán su precisión y confiabilidad. El propósito de este manual consiste en presentar los métodos de inventario existentes y de corto plazo, en la medida en que podrían ser aplicados en México. Por otro lado, con el objetivo de compensar las amplias variaciones en la disponibilidad de datos de emisiones y actividad vehicular, aquí se analiza una amplia variedad de procedimientos.

Este manual proporciona un panorama general de diversos métodos de inventario, y las numerosas referencias citadas dan acceso a valiosa información adicional. Cabe señalar que la capacitación “práctica” adicional en los modelos de factores de emisión de vehículos automotores referidos en este manual (MOBILE y PART5), es un factor esencial para la creación de un inventario de alta calidad.

Este manual se refiere sólo a vehículos automotores en circulación. Las fuentes móviles que no circulan por carreteras incluyen a los vehículos diseñados para ser utilizados fuera de caminos públicos (i. e., aeronaves, locomotoras, embarcaciones, palas mecánicas, grúas y equipo de construcción), así como otras fuentes de emisión móviles (e. g., generadores eléctricos portátiles). La estimación de emisiones de fuentes que no circulan por carreteras se presenta en el *Volumen V: Desarrollo de Inventarios de Fuentes de Area*. El resto de esta introducción resume los procesos de emisión asociados con los vehículos automotores que circulan por carreteras, y discute la clasificación de los vehículos mexicanos dentro de los grupos utilizados en los inventarios de emisión. El manual está estructurado como se muestra a continuación:

- La Sección 2.0 contiene un panorama general del proceso de inventario de emisiones de vehículos automotores que circulan por carreteras, discute la manera en que las emisiones son calculadas, y analiza la forma en que se establecen las prioridades para el desarrollo de los datos
- La Sección 3.0 discute los modelos de factores de emisión y su aplicación en México
- La Sección 4.0 presenta el desarrollo de los datos de actividad vehicular que se utilizan en conjunto con los factores de emisión para estimar las emisiones.
- La Sección 5.0 presenta los procedimientos de aseguramiento de calidad (AC) que pueden aplicarse para verificar la racionalidad y precisión de la estimación de las emisiones de los vehículos automotores que circulan por carreteras.

1.1 Procesos de Emisión en los Vehículos que Circulan por Carretera

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por un gran número de contaminantes que provienen de muchos procesos diferentes (Figura 1-1). Las más comúnmente consideradas son las emisiones del escape, que resultan de la combustión del combustible y que son liberadas por el escape del vehículo. Los contaminantes de interés clave en este tipo de emisiones incluyen GOTs, CO, NO_x, SO_x, PM, gases tóxicos del aire (e. g., 1, 3-butadieno, benceno, formaldehído, etc.), y las especies reductoras de visibilidad (e. g., amoniaco, sulfatos, $PM_{2.5}$, etc.). Además de las emisiones del escape, los vehículos automotores registran una gran variedad de procesos de emisión evaporativa que se limitan a emisiones de GOTs, y que incluyen:

- **Emisiones Evaporativas del Motor Caliente**: Son aquellas que se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después de que el motor se ha apagado. El calor residual del motor volatiliza el combustible.

- **Emisiones Evaporativas de Operación**: Son las emisiones ocasionadas por las fugas de combustible, como líquido o vapor, que se presentan mientras el motor está en funcionamiento.

- **Emisiones Evaporativas Durante la Recarga de Combustible**: Son las emisiones evaporativas desplazadas del tanque de combustible del vehículo durante la recarga. Estas pueden ocurrir mientras el vehículo está en reposo y en puntos conocidos, como las gasolineras. La recarga de combustible es manejada típicamente como fuente de área y se discute en el *Volumen V: Desarrollo de Inventarios de Fuentes de Area*. Los factores de emisión para la carga de combustible también pueden estimarse a través del modelo MOBILE o bien, obtenerse de otras fuentes tales como el AP-42.

- **Emisiones Diurnas**: Son las emisiones del tanque de combustible del vehículo debidas a una mayor temperatura del combustible y a la presión de vapor del mismo. Estas emisiones se deben al incremento de la temperatura ambiente ocasionado por el sistema de escape del vehículo o por el calor reflejado en la superficie del camino.

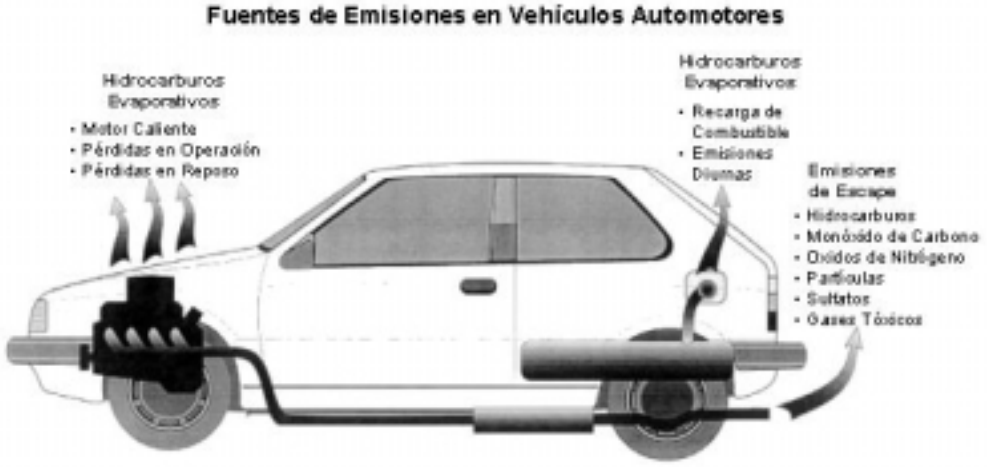

Figura 1-1 Procesos de Emisión en Vehículos Automotores

- **Emisiones Evaporativas en Reposo**: Son emisiones evaporativas diferentes a las anteriores, que se presentan cuando el motor no está en funcionamiento. Las pérdidas en reposo se deben principalmente a fugas de combustible y de la permeación del vapor a través de las líneas de alimentación del combustible.

Existen fuentes adicionales de emisiones de partículas (PM) de los vehículos automotores. Entre éstas, la de mayor magnitud es el levantamiento de polvo del camino, polvo recogido por las llantas del vehículo y suspendido en el aire por la turbulencia ocasionada por el movimiento. Las emisiones de polvo son manejadas como fuente de área y se discuten en el *Volumen V; Desarrollo de Inventarios de Fuentes de Area*. Otras fuentes de PM no originadas en el escape incluyen el desgaste de las llantas y frenos. En general, estas fuentes son insignificantes cuando se comparan con las del escape y el polvo levantado y, por lo tanto, en algunas ocasiones son omitidas de los inventarios de emisiones. Los factores de emisiones para llantas y frenos, sin embargo, pueden ser estimados utilizando el modelo PART5 (ver Sección 3.2).

1.2 Tipos de Vehículos en México

El gran número de vehículos en una región de aplicación del inventario hace que la medición de las emisiones de cada vehículo individual sea impráctica. En consecuencia, la metodología para el inventario de vehículos automotores se basa en distribuir a los vehículos en categorías con características de emisión similares y, posteriormente, tratar de cuantificar las emisiones para cada grupo. Las variables clave que se utilizan en esta clasificación inicial de los vehículos son el tipo de vehículo (automóvil, camión, autobús, etc.), el tipo de combustible (gasolina, diesel, combustibles licuados, etc.), el peso bruto vehicular (PBV), y el nivel de la tecnología de control de emisiones del vehículo. El PBV es el peso del vehículo cuando transporta la carga máxima permitida por el fabricante con el tanque de combustible lleno.

Las emisiones de los diferentes vehículos automotores pueden variar en múltiples órdenes de magnitud, dependiendo de numerosos factores. En particular, el nivel de la tecnología de control de emisiones en un vehículo ejerce una influencia significativa sobre la magnitud de las emisiones, y es determinado por las normas de emisión aplicables al vehículo. Los vehículos nuevos que cumplen con los mismos estándares tenderán a generar emisiones similares en el uso real con respecto a los vehículos producidos para cumplir estándares diferentes. Cuando se estiman los factores de emisión de los vehículos, éstos son agrupados con base en los estándares de emisión que aplican a los vehículos cuando fueron fabricados.

En México se han establecido las nuevas normas de emisión para vehículos que se muestran a continuación:

- NOM-042-ECOL-1999 – Aplicable a vehículos nuevos en planta (PBV 400-3,857 kg) alimentados con gasolina, gas natural u otros combustibles
- NOM-044-ECOL-1993 – Aplicable a vehículos nuevos que usan diesel (PBV >3,857 kg) alimentados con diesel
- NOM-076-ECOL-1995 – Aplicable a vehículos (PBV >3,857 kg) alimentados con gasolina, gas LP, gas natural y otros combustibles alternos.

Adicionalmente, se han establecido las siguientes normas aplicables a vehículos en circulación:

- NOM-041-ECOL-1999 - Aplicable a vehículos (PBV >400 kg) alimentados con gasolina
- NOM-045-ECOL-1996 - Aplicable a vehículos (PBV >400 kg) alimentados con diesel (sólo opacidad de smog)
- NOM-048-ECOL-1993 – Aplicable para motocicletas alimentadas con gasolina o con una mezcla de gasolina y aceite

- NOM-050-ECOL-1993 – Aplicable a vehículos (PBV >400 kg) alimentados con gas LP, gas natural y otros combustibles alternos

- NOM-EM-102-ECOL-1995 - Aplicable a vehículos utilizados en el Valle de México (PBV >400 kg) alimentados con gasolina u otros combustibles.

Las normas para los vehículos en circulación están diseñadas principalmente para detectar a los vehículos con altas emisiones durante las pruebas de inspección y mantenimiento (I/M). Estas normas y sus clases asociadas se discuten con mayor detalle en la Sección 3.4.2.

2.0 PANORAMA GENERAL DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL INVENTARIO

El desarrollo de un inventario de emisiones de vehículos automotores tiene el objetivo de cuantificar las emisiones generadas por una gran flota vehicular con diversas características de emisión. La ecuación básica utilizada para estimar dichas emisiones consiste en multiplicar los datos de actividad vehicular por un factor de emisión adecuado. Para los vehículos automotores, los datos de actividad son representados por los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), que es la distancia total recorrida por los vehículos automotores dentro del dominio espacial del inventario; mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramos de contaminante emitido por KRV. De manera ideal, las estimaciones de KRVs deben ser desarrolladas directamente a partir de datos locales tales como modelos de transporte o conteos de tráfico en circulación. Sin embargo, en muchos casos, estos datos no están disponibles y surge la necesidad de estimar la actividad vehicular con base en parámetros alternos, tales como las estadísticas del consumo regional de combustible. Los factores de emisión deben estimarse utilizando un modelo de factor de emisión que haya sido ajustado para las condiciones locales.

La Figura 2-1 muestra las etapas básicas del proceso de desarrollo de un inventario de vehículos automotores que circulan por carretera. Este proceso puede ser dividido en cinco pasos clave:

- Recopilación de los datos de la actividad vehicular (KRV directos o estadísticas de consumo de combustible)
- Recopilación de los datos específicos de área (datos de temperatura ambiente, composición del parque vehicular, tasas de acumulación de kilómetros por vehículo, etc.)
- Generación de los factores de emisión utilizando un modelo de factor de emisión

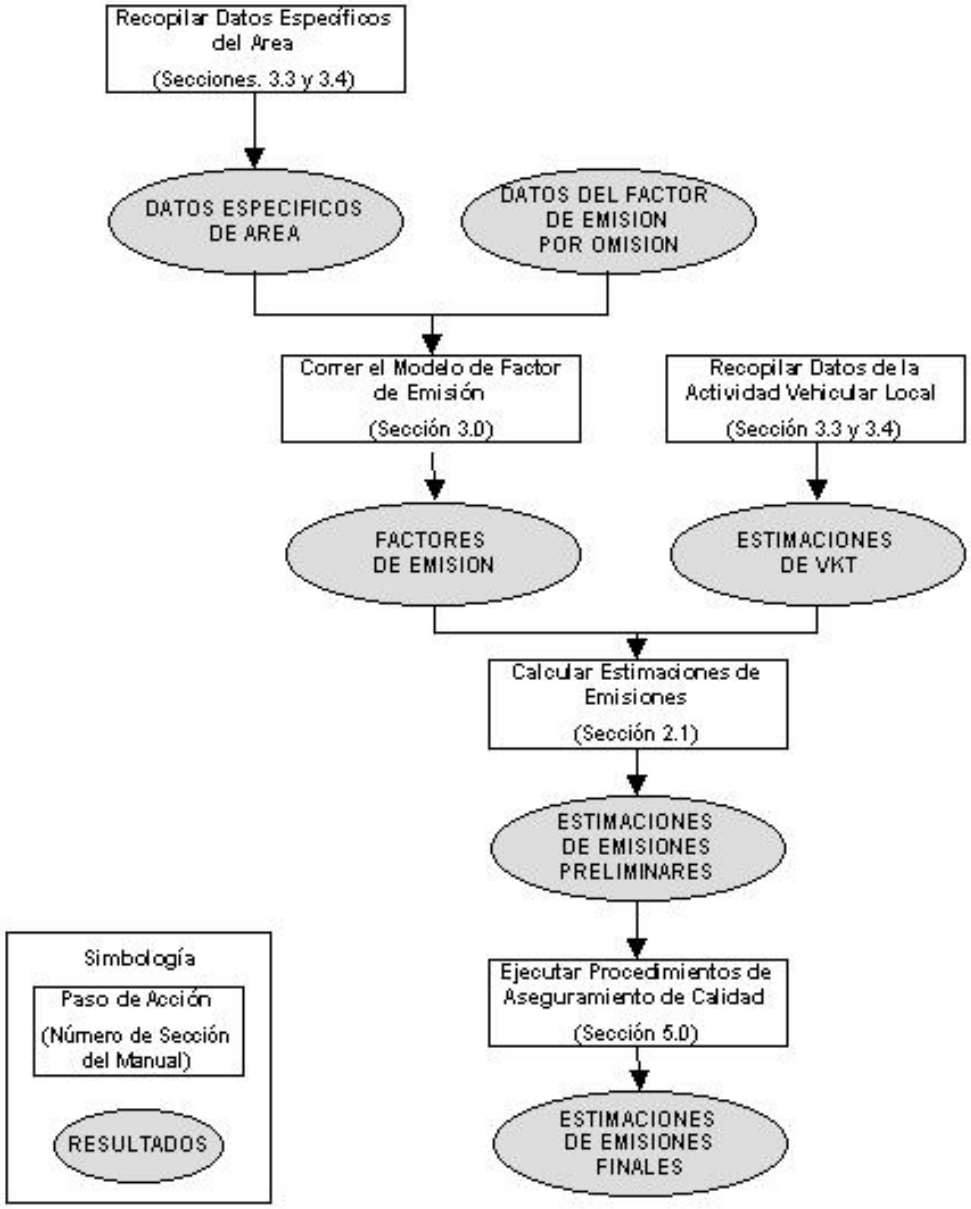

Figura 2-1. Desarrollo del Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores que Circulan por Carretera

- Cálculo de las estimaciones de emisión preliminares
- Implantación de los procedimientos de aseguramiento de calidad (AC) para finalizar las estimaciones del inventario.

Un inventario de emisiones de vehículos automotores para un área urbana puede incluir miles, o hasta millones, de unidades. El parque vehicular está integrado por un conjunto de vehículos de todos los modelos y años, y el nivel de los controles de emisión instalados varía significativamente dentro de todo el espectro que están en operación en un momento determinado. Cada vehículo es conducido de manera individual, a diferentes velocidades y cargas, en diversas condiciones de manejo. Adicionalmente, los vehículos están sujetos a niveles variables de mantenimiento y alteraciones (e. g., desconexión de los sistemas de control de emisiones). Todos estos elementos pueden tener impactos significativos en las características de emisión de un vehículo, que se reflejarán como grandes diferencias en las emisiones de vehículos que de, otro modo, serían similares.

Con la tecnología actual no es factible medir las emisiones de cada vehículo individual del parque; por lo tanto, su estimación necesita de otros métodos. Los cálculos teóricos, utilizando balances de masa de combustible, por ejemplo, permiten obtener resultados útiles para estimar las emisiones de algunos contaminantes tales como el SO_x y el plomo. Para otros contaminantes, sin embargo, se debe utilizar un modelo de factores de emisión (como el MOBILE ó PART5). Los modelos de factores de emisión se basan en el tratamiento de los datos recopilados a partir de una muestra estadísticamente representativa de la flota vehicular. Posteriormente, los parámetros de entrada son ajustados para tomar en cuenta las condiciones locales y la variabilidad.

El Apéndice A presenta un ejemplo de los cálculos aplicando modelos tanto de balances de masa de combustible como de factores de emisión. Estos cálculos se basan en un inventario de emisiones real llevado a cabo en Nogales, Sonora.

2.1 Metodología Básica para la Estimación de Emisiones

La ecuación básica utilizada para la estimación de las emisiones de los vehículos automotores requiere la multiplicación de los datos de actividad vehicular por un factor de emisión apropiado, como se muestra en la Ecuación 2-1.

(2-1)

$$E_p = KRV \times FE_p$$

donde:

E_p = Emisiones totales del contaminante p

KRV = Kilómetros recorridos por vehículo

FE_p = Factor de emisión del contaminante p

Para los vehículos automotores, los datos de actividad se refieren a los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramo de contaminante por KRV. Los KRV representan la distancia total recorrida por una población de vehículos en un periodo de tiempo determinado. Es preferible que los KRV sean estimados a partir de modelos de transporte o de conteos de vehículos en circulación. En algunos casos, sin embargo, los KRV deben ser obtenidos a partir de las estadísticas de consumo de combustible.

La ecuación básica de estimación presentada anteriormente es aplicable para la mayoría de los contaminantes gaseosos y partículas. Para otros contaminantes tales como SO_x y el plomo, las emisiones se calculan utilizando un balance de combustible, suponiendo que se emite la totalidad del azufre o plomo contenido en el combustible.

La ecuación que describe el balance de combustible para SO_x es:

(2-2)

$$E_{SO_x,f} = Comb_f \times \rho_f \times S_f \times 2$$

donde:

$E_{SOx,f}$ = emisiones de SO_x del combustible f (gasolina o diesel)
$Comb_f$ = Consumo total del combustible f
ρ_f = Densidad del combustible f
S_f = Contenido de azufre (fracción de masa) del combustible f
2 = Factor de conversión de masa de azufre a masa de SO_x (como SO_2).

Una ecuación similar describe el balance de combustible para el plomo:

(2-3)

$$E_{Pb,f} = Comb_f \times \rho_f \times Pb_f$$

donde:

Pb_f = Contenido de plomo (fracción de masa) del combustible f

2.2 Prioridades en el Desarrollo de Datos

Para generar un inventario de emisiones de vehículos automotores es necesario recopilar una gran variedad de datos que incluyen KRVs; estadísticas de consumo de combustible; velocidades de manejo, datos del registro vehicular y clases de vehículos; así como las características del combustible. En algunos casos, los datos son absolutamente indispensables para el proceso del inventario y deben obtenerse para generar incluso las estimaciones más preliminares. En otros casos, los datos se utilizan para refinar el modelado, a menudo reemplazando los datos por omisión con la información local. Esta sección presenta algunos de los datos clave que deben ser obtenidos, y jerarquiza las diversas necesidades de datos. La información adicional que describe estas categorías de datos está disponible en las Secciones 3.0 y 4.0.

La importancia de los diferentes datos para el desarrollo de un inventario puede ser definida al agruparlos en tres categorías: primarios, secundarios y terciarios. Los datos primarios son los mínimos requeridos para generar un inventario básico; los datos secundarios reemplazan a los parámetros clave por omisión con datos locales; los datos terciarios se incluyen en la medida en que estén disponibles para refinar el inventario con respecto a las condiciones locales. Un inventario inicial puede generarse sólo con datos primarios; sin embargo, la adición de datos secundarios y terciarios mejora sustancialmente el nivel de confianza de las estimaciones realizadas.

Los datos primarios para un inventario incluyen:

- Datos de actividad vehicular que cubran la región del inventario en su totalidad (típicamente KRV o consumo de combustible), agrupados para coincidir con los datos del factor de emisión disponibles
- Estándares de emisión vehicular por año y modelo
- Velocidades vehiculares promedio
- Factores de emisión por tipo de vehículo, tipo de combustible, año, modelo y velocidad de manejo
- Datos de la composición del combustible para la región del inventario, por estación, incluyendo contenido de azufre, oxígeno y plomo, y presión de vapor Reid (PVR)
- Distribución del parque vehicular por año y modelo, incluyendo la fracción de vehículos no registrados y extranjeros
- Condiciones locales de altitud y temperatura ambiente
- Tasas de acumulación anual de kilómetros por vehículo, por clase vehicular, modelo y año

Los datos secundarios necesarios incluyen:

- Información sobre el programa local de inspección y mantenimiento de vehículos (I/M), y del programa anti-alteraciones (PAA)
- Datos de las encuestas locales de alteración de vehículos y tasas de uso del combustible no adecuado

Los datos terciarios incluyen:

- Datos de las encuestas locales de hábitos de manejo para identificar las longitudes de recorrido promedio y el tiempo transcurrido entre los arranques de motor
- Datos de la encuesta del patrón de manejo para identificar los patrones locales de velocidades vehiculares, peso transportado y tasas de aceleración.

3.0 MODELOS DE FACTORES DE EMISIÓN PARA VEHÍCULOS AUTOMOTORES

Como se describió en la Sección 2.0, las emisiones de vehículos automotores se calculan combinando los factores de emisión con los KRV. En lugar de ser simples factores de emisión que pudieran encontrarse en una publicación, los factores de emisión de los vehículos automotores se derivan a partir de modelos. La razón de esto es que las emisiones de los vehículos automotores son más complejas y dinámicas que la mayoría de los otros tipos de fuentes. Por ejemplo, los cambios en las características del combustible, las velocidades de operación del vehículo, la tecnología para el control de emisiones, la temperatura ambiente y la altitud pueden afectar los factores de emisión. Con el objeto de incorporar éstos y otros factores, generalmente se utiliza un modelo de factor de emisión que incluye los efectos de numerosos parámetros.

Esta sección describe diversos aspectos de los modelos para vehículos automotores (MOBILE y PART5) que pueden utilizarse para estimar las emisiones de vehículos automotores en México. El modelo MOBILE será el tema central, si bien también se discutirá el modelo PART5. La Sección 3.1 describe brevemente la historia de ambos modelos en EU y en México. La Sección 3.2 presenta una breve descripción teórica de los algoritmos utilizados para estimar los factores de emisión para vehículos automotores. La Sección 3.3 analiza los archivos tanto de entrada como de salida utilizados por el modelo MOBILE. Finalmente, la Sección 3.4 discute diversas características específicas que pueden tener una gran influencia sobre las emisiones de los vehículos automotores.

3.1 Antecedentes Históricos de los Modelos de Factores de Emisión

Esta sección resume los antecedentes históricos de los modelos de factores de emisión MOBILE y PART5 en EU, así como una breve descripción del uso de ambos modelos en México.

Modelo de Factor de Emisión MOBILE

El modelo MOBILE está formado por un conjunto de rutinas codificadas en lenguaje FORTRAN que generan factores de emisión de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), para vehículos automotores alimentados con gasolina y diesel que circulan por carreteras. Los factores de emisión para hidrocarburos pueden ser expresados como hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metánicos (HCNM), compuestos orgánicos volátiles (COV), gases orgánicos totales (GOT), o gases orgánicos no metánicos (GONM). Estas categorías se definen en la Tabla 3-1. Se recomienda que los factores de emisión de GOTs sean seleccionados en todos los esfuerzos de inventario de emisiones. Todas las referencias de este manual serán para GOTs. Para ajustar la reactividad, es posible utilizar las siguientes fracciones para gases orgánicos reactivos (GOR) (ARB, 1993):

Tabla 3-1

Definición de Hidrocarburos

	Compuestos Incluidos en los Factores de Emisión de Hidrocarburos			
	Hidrocarburos DIF[a]	**Metano**	**Etano**	**Aldehídos**
Hidrocarburos Totales (HCT)	✓	✓	✓	
Hidrocarburos No Metánicos (HCNM)	✓		✓	
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	✓			✓
Gases Orgánicos Totales (GOT)	✓	✓	✓	✓
Gases Orgánicos No Metánicos (GONM)	✓		✓	✓

[a] Los Hidrocarburos FID se refieren a las emisiones de hidrocarburos como son medidas en el detector de ionización de flama (DIF) utilizado en las pruebas de vehículos automotores.

- Emisiones del escape de vehículos de gasolina sin catalizador - 92.4%
- Emisiones del escape de vehículos de gasolina con catalizador - 85.2%
- Emisiones del escape de vehículos a diesel - 95.8%
- Emisiones evaporativas de vehículos a gasolina - 100%.

La primera generación del modelo MOBILE fue creada a mediados de los años 70 y, desde entonces, ha tenido numerosas actualizaciones y revisiones para incorporar los cambios de la legislación ambiental y los avances tecnológicos. Estas versiones actualizadas también incluyen grandes cantidades de datos de emisiones recientemente recopilados, como parte de un esfuerzo para estimar las emisiones de los vehículos automotores con mayor precisión. La versión más reciente del modelo MOBILE (MOBILE5b) fue emitida en septiembre de 1996, y se espera que el MOBILE6 sea emitido a mediados o finales del año 2000. El modelo MOBILE y otra información relacionada con los inventarios de emisiones de vehículos automotores puede ser obtenida en la página electrónica de la U.S. EPA en Internet, *Office of Mobile Sources - OMS* (Oficina de Fuentes Móviles*)*: http://www.epa.gov/oms/models.htm.

Debido a que el modelo MOBILE se basa en pruebas de emisión de vehículos estadounidenses, es probable que su uso directo en regiones fuera de EU genere resultados inciertos. Con el objeto de tomar en cuenta las posibles diferencias en el parque vehicular y los hábitos para conducir en México, el modelo MOBILE ha sido modificado para las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Monterrey y Ciudad Juárez. Los modelos modificados para la Ciudad de México (MOBILE-MCMA) y Monterrey (MOBILE-MMAp) utilizan una matriz de equivalencia para la tecnología de control que identifica los factores de emisión básicos de MOBILE para los vehículos del parque vehicular mexicano con base en la edad del vehículo y sus controles de emisión. La Tabla 3-2 presenta un ejemplo de la matriz de equivalencia de tecnología para los factores de emisión del escape y evaporativos, donde puede observarse que un vehículo mexicano ligero a gasolina (LDGV) de 1994, sería equivalente a un LDGV estadounidense de 1988. En algunos casos, un determinado modelo y año mexicano podría ser

equivalente a un modelo y año estadounidense para la tecnología de control del escape, y otro para la tecnología de control de evaporaciones. Por ejemplo, un LDGV mexicano de 1990 sería equivalente a un LDGV estadounidense de 1980 para las emisiones del escape, y a uno de 1977 para las evaporativas.

El modelo MOBILE modificado más reciente (MOBILE-Juárez) sigue asignando factores de emisiones evaporativas a partir de una matriz de equivalencia de tecnología, pero aplica los datos reales de la prueba IM240 de 206 vehículos de Ciudad Juárez como base para los factores de emisión del escape (Radian, 1996a). Hoy en día, este es el modelo de factores de emisión más recomendable para ser utilizado en México; sin embargo, a medida en que la investigación relacionada con los vehículos automotores en México continúe, el modelo MOBILE mexicano también seguirá evolucionando. El INE es la referencia a contactar con relación a la versión más adecuada del modelo de factores de emisión a ser utilizado en cualesquier esfuerzos de inventario de emisiones en el futuro.

Modelo de Factor de Emisión PART5

El modelo de factor de emisión PART5 de la U.S. EPA también utiliza rutinas codificadas en lenguaje FORTRAN similares a las de MOBILE para estimar los factores de emisión de partículas (PM) y óxidos de azufre (SO_x) de vehículos automotores. Sin embargo, se recomienda que los factores de emisión de SO_x en México **NO** sean estimados con el modelo PART5, por diversas razones, entre las que se incluye la incapacidad del modelo para ajustar el contenido de azufre de manera tal que refleje las condiciones locales. En su lugar, las emisiones de SO_x deben estimarse utilizando balances de combustible, como se describe en la Sección 2.1. La última versión del modelo PART5 fue emitida en febrero de 1995 (U.S. EPA, 1995). Si bien el modelo PART5 se asemeja al MOBILE en varios aspectos, el primero se encuentra en una etapa de desarrollo más temprana debido a que se han recopilado menos datos sobre la emisión de PM. Esto es, en gran medida, el resultado de que en EU los precursores de ozono (GOT, CO y NO_x) han recibido una mayor prioridad que las PM. En consecuencia, algunos de los parámetros que afectan las emisiones de partículas en los vehículos automotores (e. g., temperatura, programas de

inspección y mantenimiento [I/M], etc.), aún no hayan sido modelados en el PART5. Por otro lado, varios supuestos en este modelo (i. e., ciclos de manejo, especificaciones de combustible, sistemas de control de emisiones, tasas de deterioro de los sistemas del motor, etc.), son válidos sólo para EU. A menos que las condiciones en México sean similares a estos supuestos, los factores de emisión resultantes no representarán de manera precisa las emisiones de PM de los vehículos automotores mexicanos.

Hasta este momento, el modelo PART5 **NO** ha sido modificado para ser utilizado fuera de EU. Se espera que el nivel de esfuerzo necesario para su adaptación para México sea similar al aplicado en la modificación del MOBILE para las ciudades de México y Monterrey. Se recomienda que el modelo PART5 sea utilizado sólo hasta que haya sido adaptado al caso de México. Esta no es una solución ideal, sin embargo, el modelo PART5 de EU servirá como metodología provisional hasta que se genere la versión específica para México. El INE es la referencia a contactar con relación a la versión más adecuada del modelo de factores de emisión a ser utilizado en cualesquier esfuerzos de inventario de emisiones en el futuro.

3.2 Descripción Teórica de los Modelos de Factores de Emisión

En los modelos MOBILE y PART5, la meta final consiste en calcular un factor de emisión **promedio** para cada tipo de vehículo. Esta sección describe algunas de las ecuaciones teóricas básicas utilizadas, que se presentan como parte de los antecedentes generales para el usuario del modelo. Estas ecuaciones teóricas no serán visibles para el usuario real del modelo de factores de emisión; sin embargo, tanto éstas como los factores de emisión resultantes serán influenciados por los diversos parámetros de entrada del modelo que se describen en las secciones 3.3 y 3.4.

El cálculo de las tasas básicas de emisión promedio (TBEs) para cada tipo de vehículo, modelo y año es el primer paso para estimar los factores de emisión de vehículos automotores. El fundamento de las TBEs son los datos sobre las emisiones de vehículos en uso obtenidos en condiciones de prueba normalizadas (i. e., temperatura, características del

combustible y ciclos de manejo normalizados). Ahora bien, las emisiones varían con la edad del vehículo, de manera que es posible aplicar regresiones lineales que relacionan los datos de las emisiones con las lecturas del odómetro. Estas regresiones dan como resultado ecuaciones TBEs que incorporan una tasa de emisión de cero millas (la interseción "y" de la regresión) y una tasa de deterioro (pendiente). La primera representa las emisiones de un vehículo nuevo, mientras que la segunda describe la manera en que las emisiones se incrementan con el kilometraje (millaje) del vehículo.

El modelo MOBILE utiliza dos ecuaciones TBEs para describir las diferentes tasas de deterioro en diferentes regímenes de kilometraje (millaje) para los LDGV y los camiones ligeros a gasolina nuevos. A continuación se presentan las dos ecuaciones TBE hipotéticas:

$$\text{Para } MILAC \leq 50{,}000 \text{ millas}, TBE = ECM + \left(\text{DET1} \times \frac{MILAC}{10{,}000} \right) \quad (3\text{-}1)$$

$$\text{Para } MILAC > 50{,}000 \text{ millas}, TBE = ECM + (\text{DET1} \times 5) + \left(\text{DET2} \times \frac{[MILAC - 50{,}000]}{10{,}000} \right) \quad (3\text{-}2)$$

donde:

TBE	=	tasa básica de emisión
ECM	=	nivel de emisión cero millas (intersección)
DET1	=	tasa de deterioro por cada 10,000 millas (pendiente) para el millaje acumulado hasta 50,000 millas
DET2	=	tasa de deterioro por cada 10,000 millas (pendiente) para el millaje acumulado por más de 50,000 millas
MILAC	=	millaje acumulado en el odómetro

Estas dos ecuaciones TBE hipotéticas han sido graficadas en la Figura 3-1, donde aparecen el nivel de emisión cero millas y las dos tasas de deterioro. Un punto de inflexión hipotético a las 50,000 millas puede observarse claramente en el momento en que los vehículos pasan de una tasa de deterioro a otra. En realidad, los datos de la prueba de emisiones de los vehículos en uso podría ser no linear en extremo. El modelo MOBILE utiliza una o dos ecuaciones TBEs para mantener el volumen de los cálculos en un nivel manejable. Dependiendo de la distribución de los datos de emisión en los diferentes conjuntos de datos, las ecuaciones TBEs y los puntos de inflexión resultantes podrían variar significativamente. El punto de inflexión de 50,000 millas en el modelo MOBILE ha sido adoptado por convención para los vehículos y camiones ligeros a gasolina. A cada tipo de vehículo se le ha asignado una TBE por cada 25 años de antigüedad, con base en la acumulación de kilometraje (millaje) para cada modelo y año vehicular.

Las tasas básicas de emisión no corresponden exactamente con las emisiones reales de un vehículo automotor; dado que más bien representan las emisiones medidas en condiciones de prueba sumamente controladas. Para reconciliar las diferencias que existen entre las emisiones de prueba y las reales, se deben aplicar diversos factores de ajuste a las emisiones reales. De esta manera, a partir de la TBE es posible calcular un factor de emisión básico (BEF) para cada tipo de vehículo, modelo y año.

Esto se muestra a continuación:

$$FEB = (TBE \times FA \times FAim) + FAaa \qquad (3\text{-}3)$$

donde:

FEB	=	factor de emisión básico, por modelo y año
TBE	=	tasa básica de emisión, por modelo y año
FA	=	factor de ajuste para los efectos de diferentes temperaturas, presiones de vapor de Reid y modos de operación
FAim	=	factor de ajuste para el efecto del programa de I/M
FAaa	=	factor de ajuste para los efectos de la alteración de los controles de emisión y los programas anti-alteración

La ecuación anterior sólo muestra los principales factores de ajuste que son aplicables para todos los tipos de contaminantes en las situaciones más típicas. En el modelo MOBILE existen factores de ajuste adicionales que son aplicables sólo en circunstancias especializadas o para un contaminante (e. g., corrección para CO a baja temperatura). La información sobre estos factores de ajuste específicos puede encontrarse en la *MOBILE User's Guide* (Guía del Usuario del MOBILE5*)* (U.S. EPA, 1994), y otra documentación relacionada (U.S. EPA, 1992).

Después de que los FEBs para cada modelo y año han sido calculados con los ajustes pertinentes, se calcula un factor de emisión promedio o compuesto para el parque vehicular para cada tipo de vehículo con un factor de ajuste adicional. El factor de emisión compuesto para el parque vehicular (FECO) está dado por la siguiente ecuación:

$$FECA = \sum_{m\,a=1}^{25} (FR \times Fa \times TBE) \qquad (3\text{-}4)$$

donde:

FECA	=	factor de emisión compuesto del parque vehicular
ma	=	modelo y año
FR	=	fracción del recorrido (fracción de los KRV totales con los que contribuye cada modelo y año)
Fa	=	factor de ajuste para los efectos de la velocidad, uso del aire acondicionado, carga extra y remolque de trailers
TBE	=	factor de emisión básico por modelo y año

El factor de ajuste adicional (Fa) toma en cuenta los efectos de las características específicas del área de estudio con respecto a velocidad del tráfico, uso del aire acondicionado, carga extra y remolque de trailers. Después de este ajuste, cada factor de emisión ajustado es ponderado por la fracción del recorrido (en KRV) para ese modelo y año. Finalmente, los factores de emisión ponderados para cada uno de los 25 años de antigüedad se suman para generar un factor de emisión compuesto, que es el factor de emisión promedio para un tipo de vehículo específico.

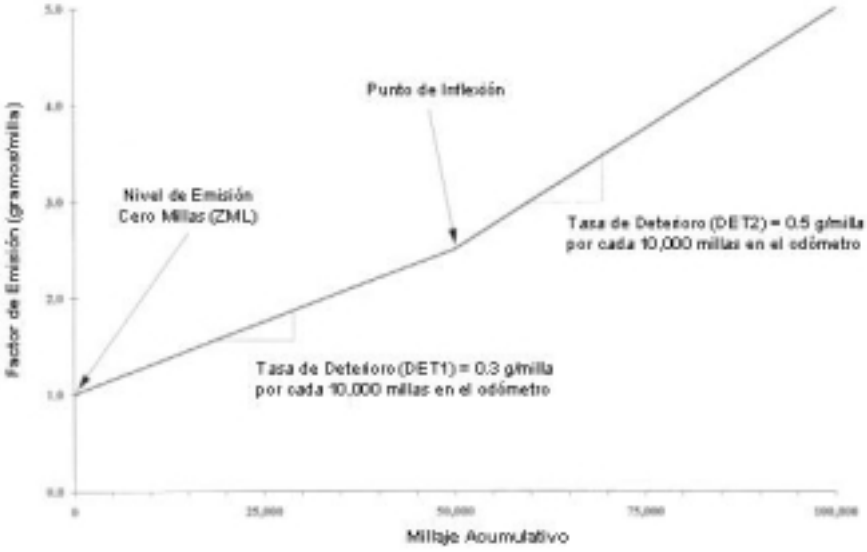

Figura 3-1. Tasas de Emisión Básicas Hipotéticas (BERs)

3.3 Formatos de Entrada y Salida de MOBILE

Esta sección describe un ejemplo de un archivo de entrada de MOBILE y el archivo de salida resultante. El Apéndice A presenta los archivos MOBILE reales para un inventario de emisiones realizado en Nogales, Sonora. Recuerde el lector que es posible encontrar mayor información sobre los formatos de archivo del MOBILE en la Guía del Usuario del MOBILE. La Figura 3-2 presenta un ejemplo del archivo de entrada del MOBILE5a, y la Figura 3-3 contiene una parte del archivo de salida resultante en el formato de hoja de cálculo. El archivo de entrada es un texto en formato ASCII leído por el código FORTRAN del modelo. Dado que FORTRAN es extremadamente "sensible" a errores, un espacio extra o un carácter mal ubicado pueden tener efectos desastrosos en la corrida del modelo. Por esta razón se recomienda más la modificación de un archivo de entrada de MOBILE existente, que la creación de uno nuevo.

Como se indica en la Figura 3-2, el archivo de entrada MOBILE está formado por tres secciones separadas: la sección de Control, la de Datos de Un Paso y la del Escenario. La primera sección consiste principalmente de un número de banderas que determinan el contenido y el formato del resto del archivo de entrada, así como del archivo de salida del programa. Las banderas también definen la forma en que el código MOBILE es ejecutado. Todas estas banderas son necesarias para que el modelo MOBILE corra correctamente.

La sección Datos de Un Paso contiene información que es específica del área. Esta información local detallada se captura sólo una vez en el archivo de entrada y reemplaza los datos por omisión que están cargados en el modelo MOBILE. Los tipos de información alterna que pueden ser capturados en esta sección incluyen:

- Tasas de alteración de los dispositivos de control de emisiones
- Combinaciones de KRV
- Tasas anuales de acumulación de kilometraje (millaje)

- Distribuciones del registro por tipo de vehículo y edad (modelo y año)
- Tasas básicas de emisión
- Programas de inspección y mantenimiento (I/M)
- Programas Anti-alteración (PAAs).

La sección de Datos de Un Paso también contiene el registro de los parámetros de área local (PAL), que incluyen diversos datos locales de importancia, entre los que destacan las temperaturas ambiente diarias mínimas y máximas, así como la presión de vapor de Reid (PVR) del combustible. Por otro lado, las banderas relacionadas con las mezclas de combustibles alternos (diesel, combustibles oxigenados y gasolina reformulada) también pueden ser incluidas en los PAL. Con excepción de los PAL, todos los datos en la sección Datos de Un Paso son opcionales. Cada corrida de MOBILE debe incluir cuando menos un PAL. Si esta sección no contiene ningún parámetro opcional, entonces el modelo correrá utilizando diversos datos cargados por omisión. El archivo ejemplificado en la Figura 3-2 sólo incluye el registro PAL, el programa I/M y la información PAA.

La sección de Escenario contiene variables que representan información específica. Cada escenario a ser evaluado está asociado con un grupo de los registros de la sección Escenario. Como mínimo, cada escenario está representado por un registro que identifica si la región está localizada a una altitud alta o baja, el año calendario de la evaluación, la velocidad promedio, la temperatura ambiente, las fracciones del modo de operación, y el mes de la evaluación. Los registros adicionales de esta sección pueden ser necesarios, dependiendo de la selección de las diversas banderas en la sección de Control. En cada corrida de MOBILE es posible calcular múltiples escenarios. Por ejemplo, el archivo de entrada de la Figura 3-2 incluye cinco escenarios que representan los años de 1996 a 2000. Los escenarios múltiples pueden ser utilizados para modelar los efectos de la rotación del parque vehicular, los programas I/M y los programas anti-alteraciones en el tiempo.

Después de correr, el modelo MOBILE genera un archivo de salida cuyo formato es controlado por la bandera de formato de salida (OUTFMT) en la Sección de Control de

Banderas. Dependiendo del valor seleccionado para esta bandera, el archivo de salida será generado en un formato descriptivo de 80 ó 112 columnas; un formato de 140 ó 222 columnas, "por modelo y año" o como hoja de cálculo. Este último formato fue incorporado en el MOBILE5 y permite que los factores de emisión modelados sean transferidos a diversos programas de hojas de cálculo (e. g., Excel, Lotus 1-2-3). Este formato simplifica la manipulación posterior de los datos y es el más utilizado.

La Figura 3-3 presenta una porción del archivo de salida generado a partir del archivo de entrada ejemplificado en la Figura 3-2. Los valores de la Figura 3-3 son resultados estrictamente hipotéticos y no deben ser utilizados en aplicaciones reales. Esta figura indica los factores de emisión de los modelos 1996 y 1997 para HC (totales y por componente), CO y NO_x para cada uno de los ocho tipos de vehículos. Por ejemplo, los factores de emisión de 1997 para los vehículos ligeros a gasolina (LDGV) para HC (seleccionados como GOT en el archivo de entrada), CO y NO_x son 2.431, 16.951 y 1.511 gramos por milla, respectivamente. Los factores de emisión promedio del parque vehicular (asumiendo las distribuciones por omisión del registro de vehículos) también han sido calculados. En la Figura 3-3, los factores de emisión del parque vehicular en 1997 para HC, CO y NO_x son de 2.764, 20.037 y 2.418 gramos por milla, respectivamente. Las secciones del archivo de salida no incluidas en la Figura 3.3 contienen los factores de emisión para el periodo 1998-2000, así como los resúmenes de los datos del archivo de entrada.

Figura 3-2. Ejemplo del Archivo de Entrada de MOBILE

Figure 3-3 Sample Output File
MOBILE5a (26-Mar-93)

I/M Program:		Yes			Anti-tam Program:		Yes		Reformulated Gas:		No
Minimum Temp:		72			Maximum Temp:		92		Period 1 RVP:		9
Gasoline Market Share:			1		Ether Blend Market Share:			0		Alcohol Blend Market S	
					Ether Blend Oxygen Content:			0		Alcohol Blend Oxygen	
		Composite Emission Factors									
Pollutant	Cal. Year	LDGV ef	LDGT1 ef	LDGT2 ef	LDGT ef	HDGV ef	LDDV ef	LDDT ef	HDDV ef	MC ef	All Veh
Emission factors are as of			Jan.		1st of the indicated calendar year.						
HC	1996	2.481	2.585	3.522	2.827	10.464	0.782	1.12	2.601	6.005	2.845
Exhaust	1996	1.396	1.576	2.234	1.784	5.255	0.782	1.12	2.601	2.172	1.697
Evap	1996	0.343	0.39	0.534	0.436	3.583				3.406	0.466
Refuel	1996	0	0	0	0	0					0
Running	1996	0.661	0.46	0.679	0.529	1.496					0.603
Resting	1996	0.082	0.079	0.075	0.078	0.13				0.427	0.079
CO	1996	17.152	18.885	23.876	20.464	105.181	1.746	2.003	12.163	24.777	20.435
NOx	1996	1.551	1.675	2.107	1.812	5.172	1.618	1.88	13.577	0.773	2.475
I/M Program:		Yes			Anti-tam Program:		Yes		Reformulated Gas:		No
Minimum Temp:		72			Maximum Temp:		92		Period 1 RVP:		9
Gasoline Market Share:			1		Ether Blend Market Share:			0		Alcohol Blend Market S	
					Ether Blend Oxygen Content:			0		Alcohol Blend Oxygen	
		Composite Emission Factors									
Pollutant	Cal. Year	LDGV ef	LDGT1 ef	LDGT2 ef	LDGT ef	HDGV ef	LDDV ef	LDDT ef	HDDV ef	MC ef	All Veh
Emission factors are as of			Jan.		1st of the indicated calendar year.						
HC	1997	2.431	2.441	3.409	2.745	9.688	0.769	1.098	2.512	6	2.764
Exhaust	1997	1.369	1.546	2.203	1.752	4.853	0.769	1.098	2.512	2.167	1.656
Evap	1997	0.327	0.364	0.48	0.401	3.3				3.406	0.438
Refuel	1997	0	0	0	0	0					0
Running	1997	0.656	0.454	0.654	0.516	1.41					0.593
Resting	1997	0.079	0.077	0.073	0.076	0.124				0.427	0.077
CO	1997	16.993	18.882	24.459	20.637	94.805	1.73	1.987	12.003	24.777	20.037
NOx	1997	1.811	1.638	2.171	1.806	5.118	1.581	1.827	12.847	0.773	2.418

Figura 3-3. Ejemplo de Archivo de Salida de MOBILE

3.4 Efecto de las Características Locales

Como se indicó anteriormente, los factores de ajuste son ampliamente utilizados en los modelos de factores de emisión para corregir las condiciones de operación particulares, que son el resultado de diversas características específicas del área. La Sección 3.4.1 hará referencia a las características regionales, mientras que la Sección 3.4.2 discutirá las características del parque vehicular. Estas secciones sólo presentan un panorama general de los efectos de dichas características en las emisiones de los vehículos automotores; los detalles específicos, así como la información relacionada con las características menos importantes, pueden encontrarse en la Guía del Usuario del Modelo MOBILE.

3.4.1 Características Regionales que Afectan a los Factores de Emisión

Algunas de las características regionales que pueden afectar las emisiones de los vehículos automotores incluyen las características físicas (temperatura o altitud), características del combustible, y programas de verificación (programas I/M y anti-alteración PAA). A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

Temperatura

Las emisiones de vehículos automotores (GOT, CO y NO_x) tienen una gran dependencia de la temperatura del aire circundante. La temperatura de operación estándar utilizada en la determinación de las tasas básicas de emisión del MOBILE es de 24°C (75°F); por lo tanto, el modelado de emisiones a cualquier otra temperatura requiere el uso de factores de ajuste para este parámetro. En el modelo MOBILE, estos factores de ajuste son determinados por la bandera de temperatura (TEMFLG) en la sección de Control, el registro de la temperatura diaria mínima y máxima en el parámetro de área local (PAL), y la temperatura ambiente en el registro descriptivo del escenario. Estas entradas de datos se indican en el ejemplo del archivo de entrada de MOBILE que se presenta en la Figura 3-4.

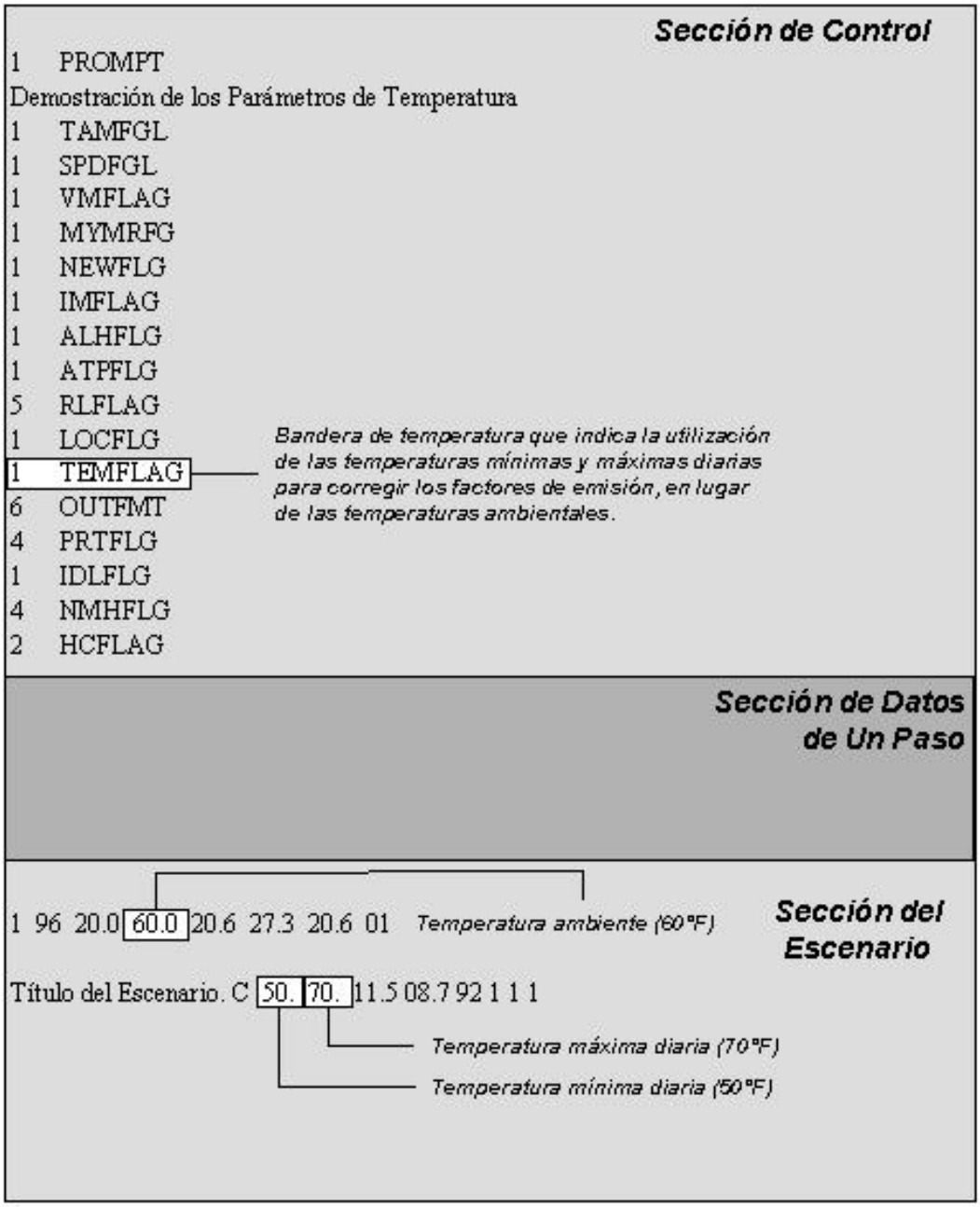

Figura 3-4. Ejemplo de los Parámetros de Temperatura en MOBILE

Dependiendo del valor elegido para TEMFLG, los factores de ajuste para las emisiones de escape, emisiones evaporativas del motor recién apagado y las emisiones en reposo y en operación serán calculadas utilizando la temperatura mínima y máxima diaria, o la temperatura ambiente. Se recomienda que siempre que sea posible se utilice la opción de la temperatura mínima y máxima diaria. Independientemente del valor de la TEMFLG, el factor de ajuste para las emisiones evaporativas diurnas será calculado con base en la temperatura mínima y máxima diaria. En algunos inventarios, las emisiones estacionales de fuentes móviles son deseables. En estos casos, debe realizarse una corrida del MOBILE para cada estación (primavera, verano, otoño e invierno), utilizando la temperatura mínima y máxima diaria promedio para cada una.

La dependencia de las emisiones de GOT (seleccionada ajustando la bandera NMHFLG a "4"), CO y NO_x de la temperatura, se muestra en la Figura 3-5, donde la temperatura ambiente es variable y todos los demás parámetros del modelo se mantienen constantes. A partir de la Figura 3-5, queda claro que las emisiones de GOT y CO son afectadas en gran medida por las temperaturas ambientales, mientras que las emisiones de NO_x son afectadas en menor grado.

Altitud

Otra característica física que tiene un efecto significativo sobre las emisiones de los vehículos automotores es la altitud de la región. A medida en que la altitud se incrementa, la densidad del aire ambiente disminuye. El resultado de esta disminución en la densidad del aire es que los vehículos afinados para funcionar en una relación aire-combustible estequiométrica, tienden a funcionar en una relación más rica en combustible. Esta desviación de la estequiometría resultará en mayores emisiones de contaminantes. Por otro lado, la altitud también puede afectar la eficiencia mecánica de los vehículos que, a su vez, pueden modificar la cantidad de las emisiones. Los efectos de una altitud elevada deben ser cuidadosamente analizados en regiones tales como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

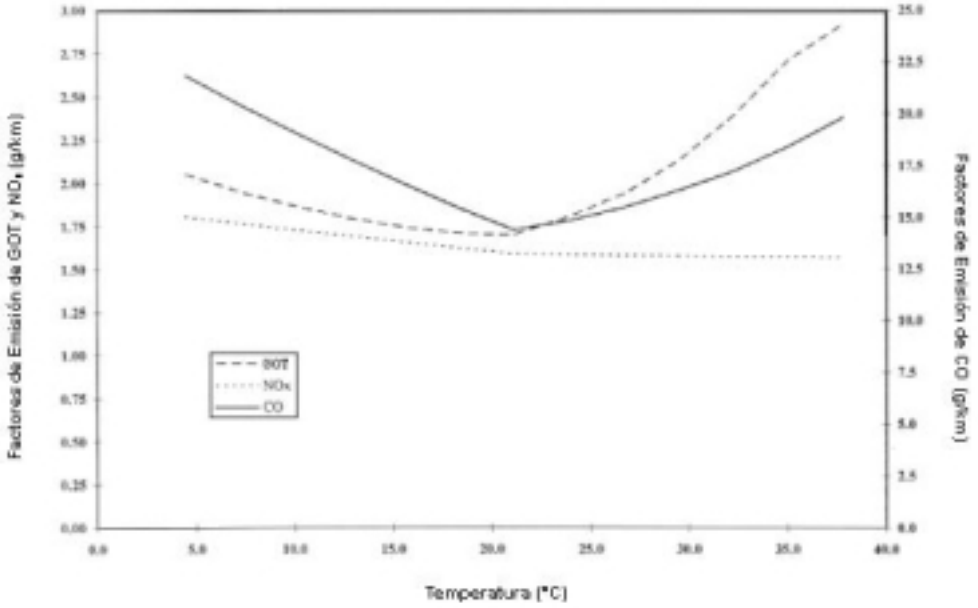

Figura 3-5. Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOTs, NO_x y CO con Temperatura Ambiente Variable

En lugar de usar un factor de ajuste para tomar en cuenta las diferencias de altitud, el modelo MOBILE utiliza un conjunto de TBEs para áreas de baja altitud (representando las condiciones aproximadamente a 150 metros sobre el nivel medio del mar), y otro conjunto de TBEs para áreas de altitud elevada (representando las condiciones aproximadamente a 1,700 metros sobre el nivel medio del mar. El conjunto de TBEs deseado se selecciona en el primer elemento de los datos del registro descriptivo del escenario ("1" para indicar baja altitud, y "2" para alta), como se muestra en la Figura 3-6. La diferencia entre las emisiones en alta y baja altitud pueden observarse en los factores de emisión promedio del parque vehicular para GOT, CO y NO_x graficados en la Figura 3-7, donde los demás parámetros del modelo se mantienen constantes. Los factores de emisión promedio del parque vehicular para GOT y CO en altitudes elevadas son entre 15 y 20% mayores que en altitudes bajas, mientras que los de NO_x disminuyen ligeramente.

Características del Combustible - PVR

Dado que las emisiones de los vehículos automotores son el resultado final de la combustión de la gasolina y el diesel, las características del combustible pueden afectar de manera significativa la cantidad de contaminantes emitidos. La volatilidad del combustible, en particular, afecta directamente la cantidad de las emisiones de un vehículo automotor. Para el modelo MOBILE, así como para otras muchas aplicaciones, la volatilidad del combustible se expresa como presión de vapor de Reid (ó PVR). La PVR estándar para gasolina utilizada en la determinación de las tasas básicas de emisión para el modelo MOBILE es 9.0 libras por pulgada cuadrada (psi); el uso de cualquier otra PVR para gasolina requiere la aplicación de factores de ajuste. Las especificaciones del combustible actual requieren una PVR de combustible de 6.5 a 8.5 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, y de 6.5 a 9.5 en el resto del país. Se recomienda que las PVR específicas del área sean solicitadas a Petróleos Mexicanos (Pemex). Si esta información no estuviera disponible, entonces debe utilizarse la cifra superior de estos límites de especificación para el combustible como valor de entrada para MOBILE. Debido a que el diesel tiene una volatilidad muy baja que resulta en emisiones evaporativas despreciables, el MOBILE no utiliza un valor PVR para este combustible. Los factores de ajuste para la PVR son

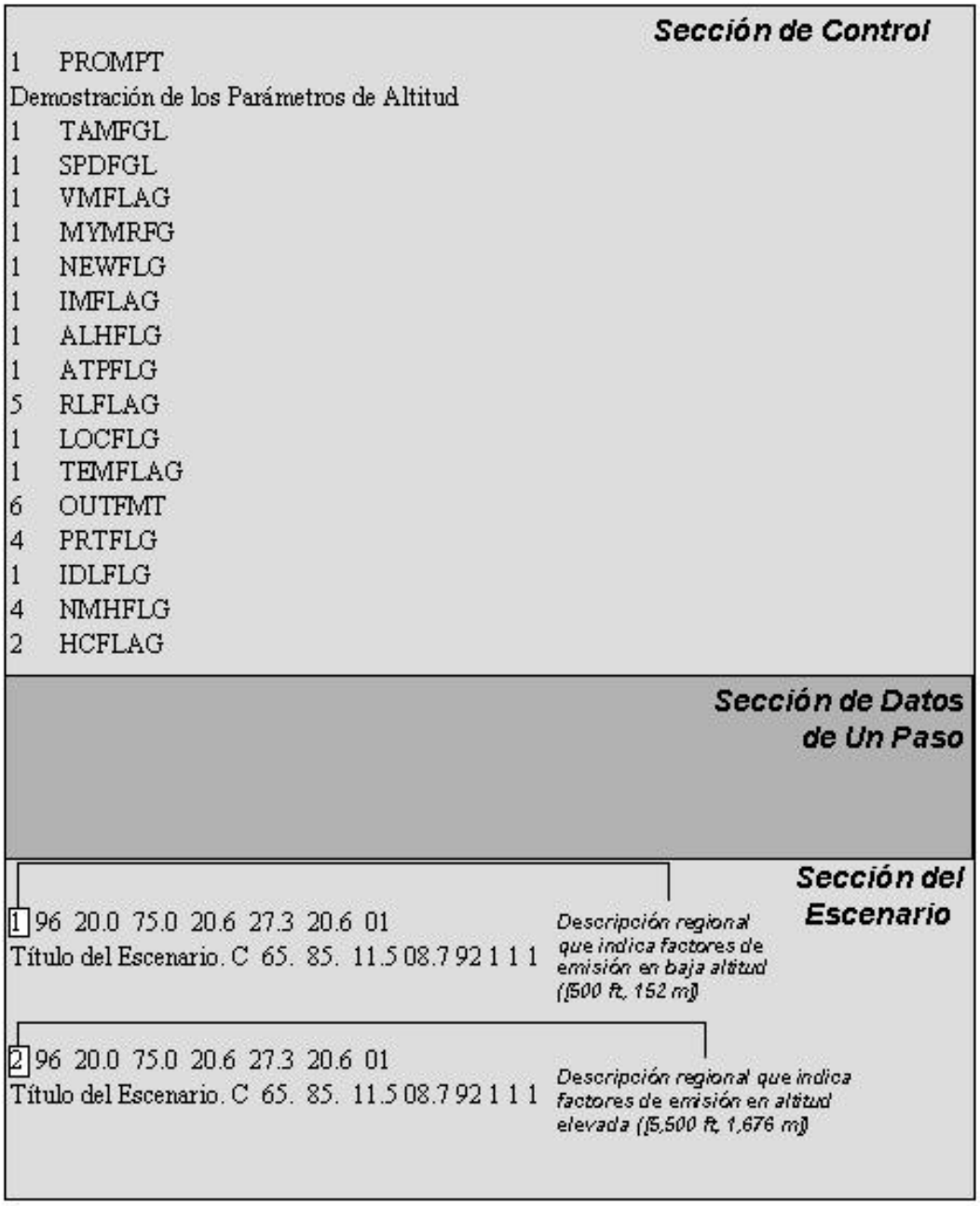

Figura 3-6. Ejemplo de los Parámetros de Altitud en MOBILE

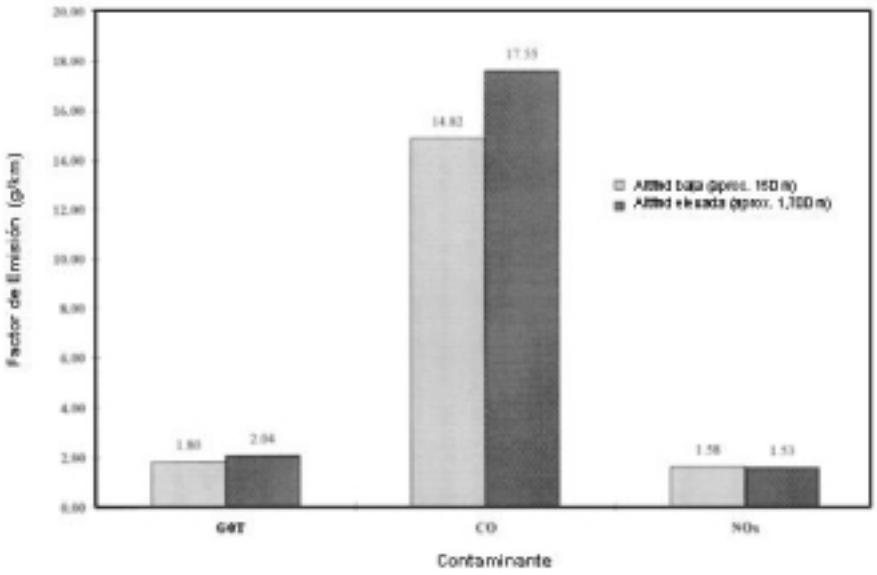

Figura 3-7. Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOTs, NO_x y CO en Altitudes Bajas y Altas

determinados por tres entradas de datos en el registro PAL: PVR del Periodo 1 *(Period 1 PVR)* (PVR antes de que un programa de control de la volatilidad entre en vigor); PVR del Periodo 2 *(Period 2 PVR)* (PVR después de que un programa de control de la volatilidad ha entrado en vigor); y año de inicio del Periodo 2 *(Period 2 start year)* (el año en que el programa de control de la volatilidad fue instrumentado). Utilizando estas tres entradas de datos, el MOBILE puede modelar un programa de control de la PVR o cualquier otro cambio relacionado con este parámetro. Si no hay un programa de control de la volatilidad que deba ser modelado, entonces las PVR del Periodo 1 y del Periodo 2 serán iguales. Estas entradas de datos son indicadas en el ejemplo del archivo de entrada de MOBILE que se presenta en la Figura 3-8.

En general, una volatilidad reducida (o valores de PVR bajos) ocasionarán emisiones más bajas. La dependencia de las emisiones con relación a la PVR del combustible se muestra en la Figura 3-9, donde la PVR de la gasolina varía de 8.0 a 13.0 psi y los demás parámetros del modelo se mantienen constantes. En esta Figura, la relación entre la PVR más baja de la gasolina y las menores emisiones de GOT y CO es sumamente evidente.

Características del Combustible – Combustibles Oxigenados

Otra característica del combustible que puede afectar la cantidad de contaminantes emitidos por los vehículos automotores, es la introducción de combustibles oxigenados (ya sea mezclas de gasolina y alcohol, o de gasolina y éter), dentro de la mezcla general de combustibles. Los combustibles oxigenados típicamente son introducidos para reducir las emisiones de CO. El mayor contenido de oxígeno en los combustibles oxigenados mejora la eficiencia de la combustión, reduciendo así las emisiones de CO. El ajuste para los combustibles oxigenados es controlado en el registro PAL por la bandera de combustible oxigenado (OXYFLG), y por un registro descriptivo de los combustibles oxigenados que sigue inmediatamente al registro PAL. Este registro incluye la participación de mercado y el contenido de oxígeno en las mezclas de combustible con alcohol y éter. Estas entradas de datos se indican en el ejemplo del archivo de entrada de MOBILE que se presenta en la Figura 3-10.

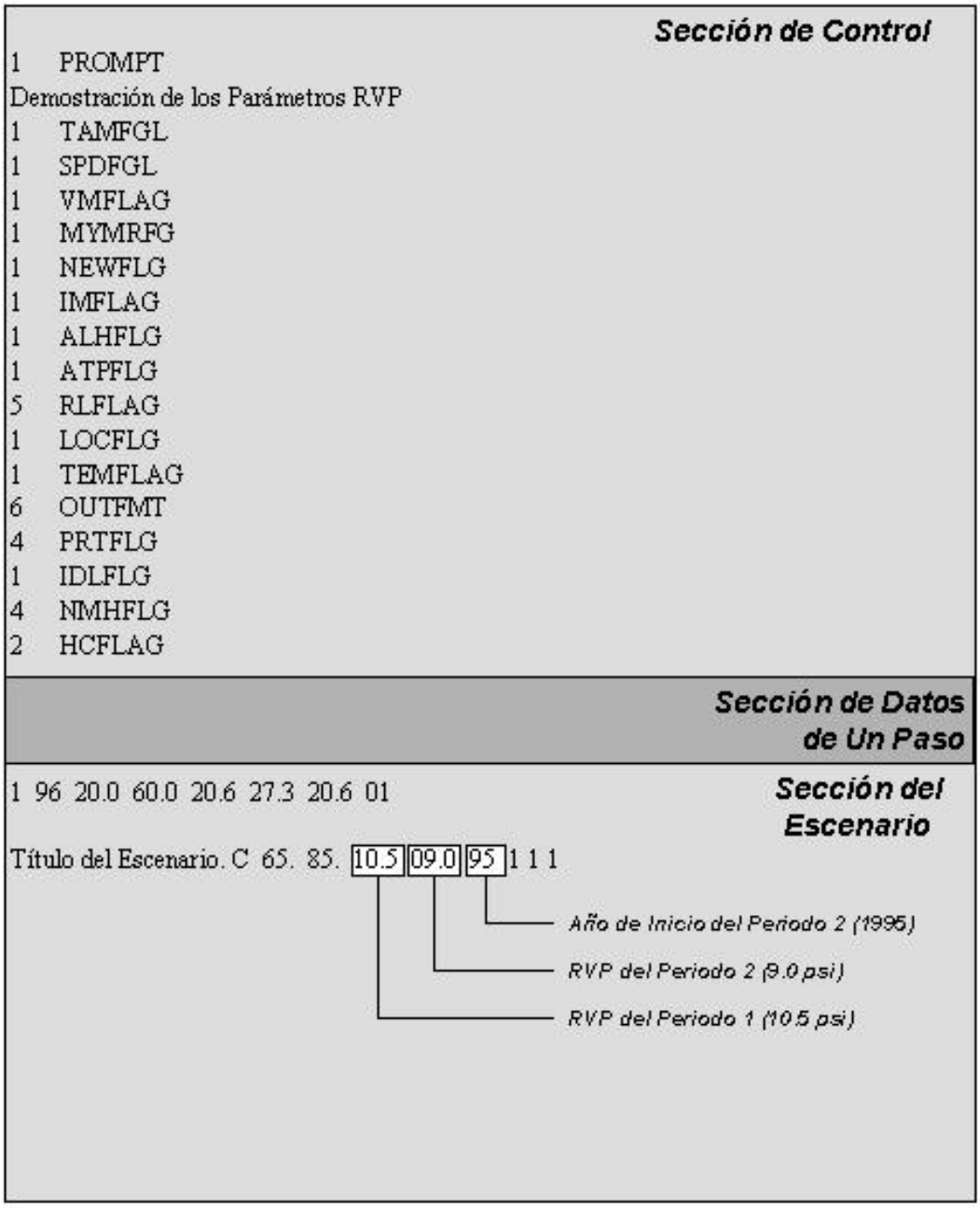

Figura 3-8. Ejemplo de los Parámetros RVP de la Gasolina en MOBILE

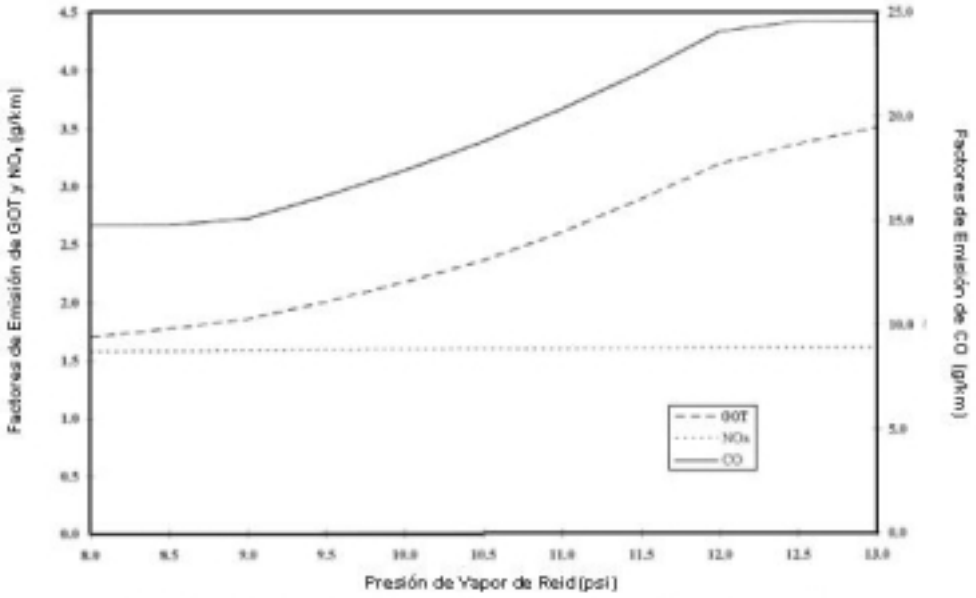

Figura 3-9. Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOT, NO_x y CO con RVPs Variables

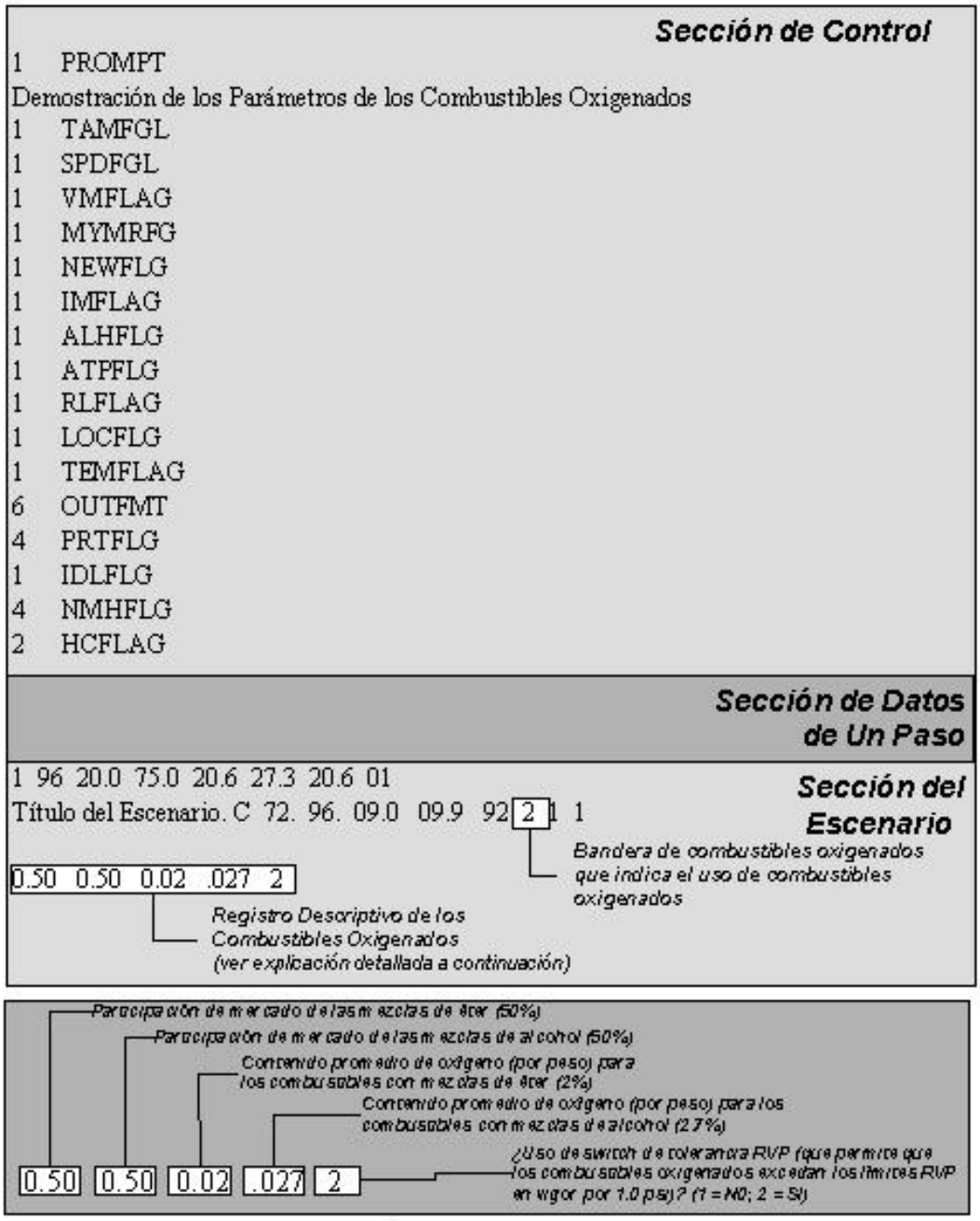

Figura 3-10. Ejemplo de los Parámetros del Combustible Oxigenado en MOBILE

Los efectos de los combustibles oxigenados puede observarse en la Figura 3-11. Los factores de emisión graficados en esta Figura representan un escenario poco realista (e. g., 50% de todo el combustible utilizado en vehículos automotores es una mezcla de alcohol, mientras que el otro 50% es una mezcla de éter). Un escenario más típico probablemente tendría una cantidad de ventas de combustibles oxigenados más baja, pero en este ejemplo se pueden observar los efectos generales, es decir, reducciones significativas en las emisiones de CO y emisiones de GOT y NO_x virtualmente sin cambios.

Además de las características de los combustibles descritos anteriormente, la gasolina reformulada (GRF) puede ser introducida a México en el futuro, como medida para el control de emisiones. Puesto de manera simple, la GRF es similar a la gasolina convencional, excepto en que algunas de sus características (e. g., PVR, contenido de benceno, de aromáticos y de oxígeno, y puntos de destilación) han sido ajustadas. Dado que las emisiones son afectadas de manera diferente por los cambios en cada una de estas características del combustible, la estimación de las emisiones de la GRF no es una tarea sencilla. El MOBILE5a tiene una bandera GRF; sin embargo, su metodología de estimación es demasiado simplista y no puede reflejar con precisión todos los efectos de la GRF. La información existente sobre la bandera GRF puede encontrarse en la Guía del Usuario del MOBILE5a. Se espera que la versión MOBILE6 (que será emitida a mediados de 1998) permita una representación más completa de los efectos de la GRF. Si México planea implementar la GRF como estrategia para el control de emisiones en el futuro, entonces será necesario llevar a cabo un análisis más detallado de los modelos MOBILE, así como otras investigaciones.

En México, los datos de las propiedades de los combustibles son manejados por Pemex. Las entidades gubernamentales pueden solicitar esta información a:

Subdirección de producción
Torre Ejecutiva, Piso 13
Marina Nacional No. 329
Col. Huasteca
Teléfono: 5722 2500 exts. 22691 y 22521
Fax: 5722 2500 ext. 23135

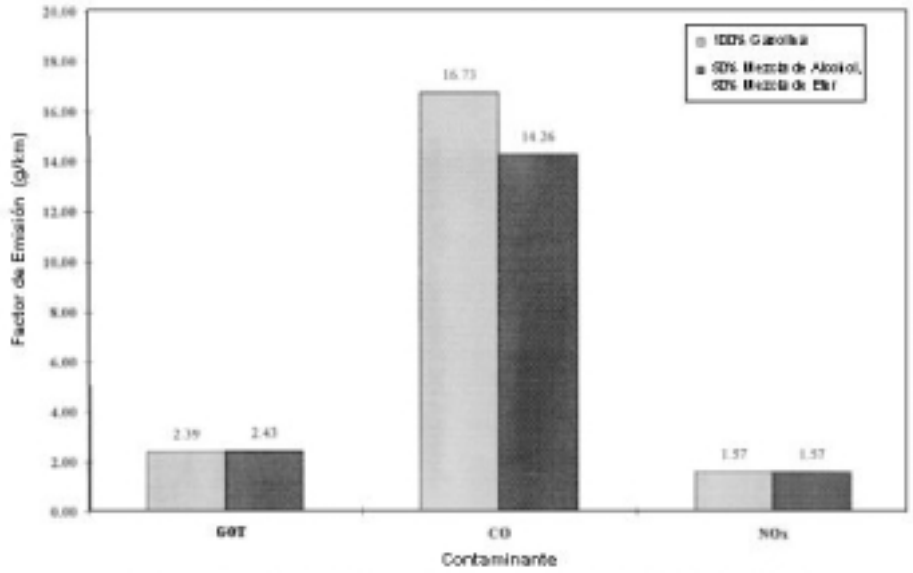

Figura 3-11. Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOT, NO_x y CO con y sin Combustibles Oxigenados

Programas de Inspección y Mantenimiento (I/M)

Con el objetivo de reducir las emisiones de los vehículos automotores, con frecuencia se instrumentan programas de verificación regionales, de los cuales el más común es el programa de inspección y mantenimiento (I/M). A medida en que el kilometraje (millaje) de un vehículo aumenta, las emisiones evaporativas y del escape también aumentan, debido a la degradación continua del sistema de control de emisiones del vehículo. El propósito de los programas I/M consiste en minimizar este exceso de emisiones aplicando pruebas en intervalos de tiempo regulares. En algunas ocasiones, esta prueba de emisiones es aplicada como un requerimiento para el registro y licenciamiento de los vehículos; aquellas unidades cuyas emisiones excedan los estándares establecidos son obligados a ser reparados. Como se explica en la Sección 3.2, los datos TBE no incluyen los efectos de los programas I/M, por lo tanto, los factores de ajuste, basados en los parámetros de entrada relacionados con los I/M, son usados para ajustar los datos TBE.

Debido a que los requerimientos específicos de los programas I/M pueden ser distintos de una región a otra, existen muchas variaciones posibles. La bandera I/M (IMFLAG), ubicada en la sección de Control, permite la modelación de los efectos de cero, uno o dos programas I/M. Si bien los programas I/M individuales representan la situación más común, en algunas ocasiones es necesario modelar dos programas I/M de manera simultánea (e. g., uno convencional para algunos modelos y años anteriores, y uno “mejorado” para modelos y años posteriores). Cada programa I/M que deba ser modelado requiere un registro descriptivo que se ubica en la sección Datos de Un Paso, y requiere la definición de los siguientes parámetros:

- Año de inicio del programa I/M
- Nivel de exigencia, o porcentaje de los vehículos que reprueban el primer año
- Primer y último modelo y año sujetos al programa I/M
- Tasas de tolerancia *(waiver rates)*, o porcentaje de vehículos a los que se les otorga una exención de reparaciones

- Tasa de cumplimiento, o porcentaje del parque vehicular sujeto a la participación en el programa
- Tipo de programa (sólo inspección, inspección y reparación [manual], o inspección y reparación [computarizada])
- Frecuencia de la inspección (anual o bienal)
- Tipos de vehículos a gasolina sujetos al programa I/M
- Tipo de prueba (reposo, 2500/idle *(2500 rpm/reposo)*, cargado/reposo ó transitorio *(transient)*)
- Uso de puntos de corte de emisión no definidos por omisión *(non-default emission cutpoints)*.

Todos estos datos de entrada se indican en el ejemplo del archivo de entrada de MOBILE que se presenta en la Figura 3-12.

Los efectos de los programas I/M se muestran en la Figura 3-13. Los factores de emisión promedio del parque vehicular graficados representan tres escenarios I/M típicos: sin programa I/M, con un programa I/M y con dos programas I/M. Los parámetros para cada uno de estos escenarios **NO** representan los programas I/M más estrictos posibles, sino programas I/M típicos. Obviamente, los programas I/M reales utilizarán parámetros diferentes que alterarán en cierta medida los factores de emisión estimados, pero la tendencia hacia la reducción de las emisiones generales de los programas I/M puede observarse en este ejemplo. Por otro lado, el ejemplo también demuestra que algunos de los beneficios derivados de los programas I/M se observan solamente con el transcurso del tiempo. Actualmente, se han instrumentado programas I/M en las ciudades de México, Monterrey y Ciudad Juárez.

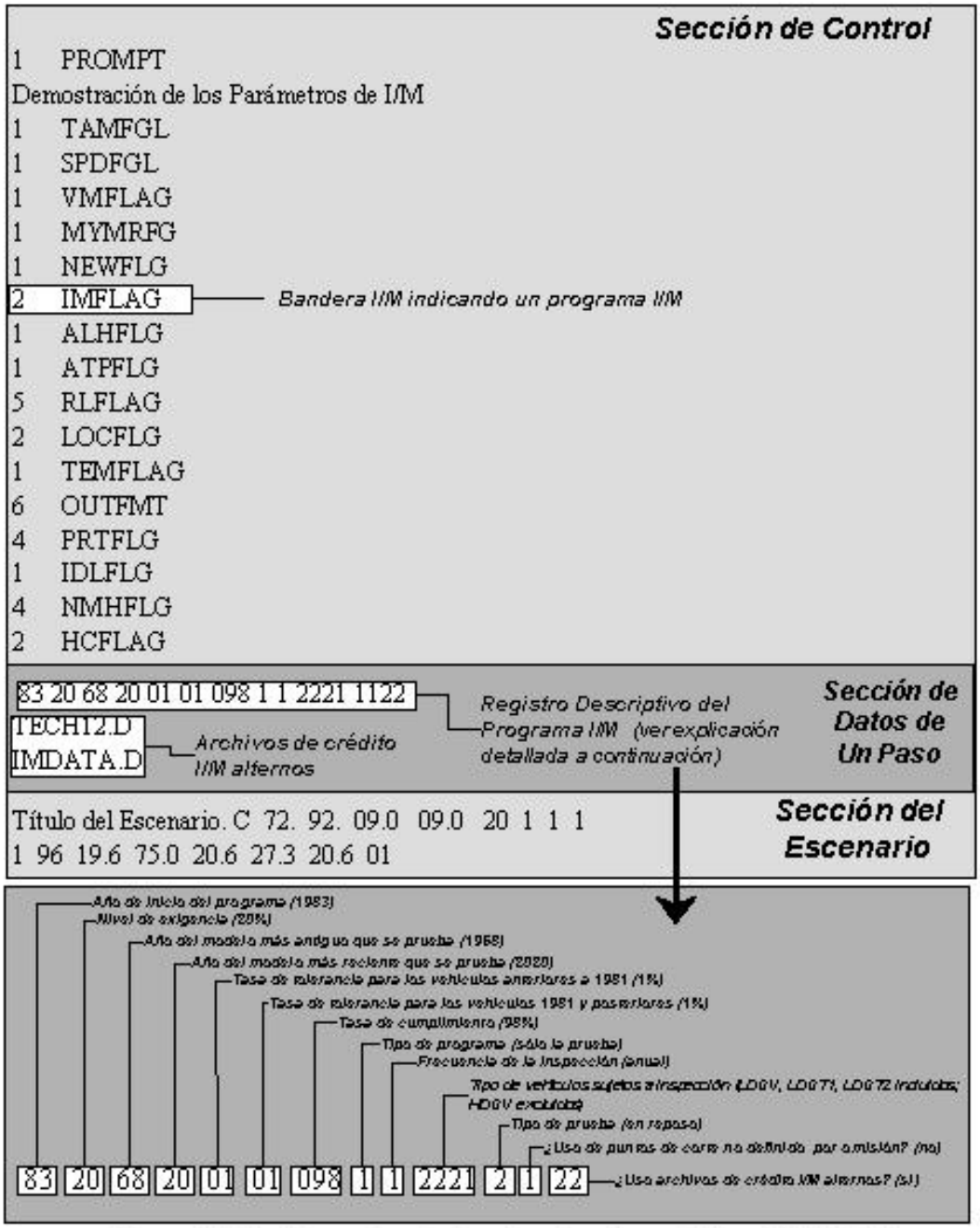

Figura 3-12. Ejemplo de los Parámetros I/M en MOBILE

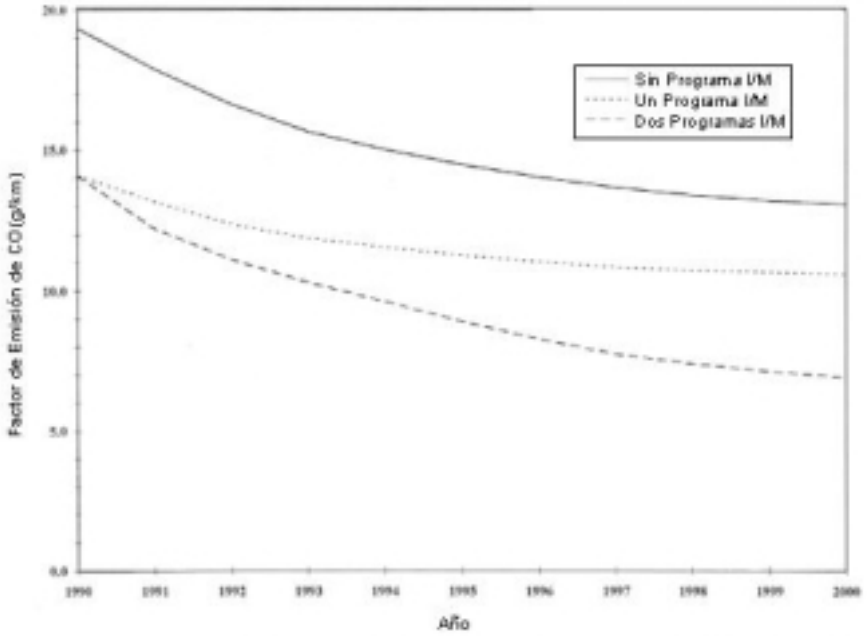

Figura 3-13. Factores de Emisión de CO para Vehículos Ligeros a Gasolina en Tres Escenarios de I/M

Programas Anti-Alteraciones

Otro tipo de estrategia regulatoria que puede ser instrumentada es el programa anti-alteraciones (PAA). La alteración se refiere a la alimentación del vehículo con el combustible inapropiado, la eliminación o desconexión de los convertidores catalíticos, o la reducción, por algún otro medio, de la eficiencia del sistema de control de emisiones del vehículo. Las razones para la alteración son diversas, pero su efecto general es la anulación de algunas de las reducciones en las emisiones logradas a través de los programas I/M u otros avances tecnológicos. La alteración puede ser intencional o no. Como su nombre lo sugiere, los PAAs son instrumentados para compensar los efectos de la alteración, y consisten en inspecciones a los diversos componentes del vehículo que son utilizados para el control de emisiones, entre los que se incluyen: los convertidores catalíticos, el limitador de entrada de combustible, y el tapón de gasolina, entre otros. Para facilitar su administración, las inspecciones PAA normalmente se realizan de manera simultánea con las pruebas I/M periódicas.

La necesidad de un PAA depende del nivel real de alteración dentro de una región específica. Para cuantificar los niveles reales de alteración, es necesario realizar un estudio. Si se encuentra que dichos niveles son bajos, entonces un PAA podría no ser la estrategia normativa adecuada para reducir las emisiones de los vehículos automotores. Sin embargo, si se determina que los niveles de alteración son altos, la instrumentación de un PAA podría permitir reducciones significativas en las emisiones. Por ejemplo, algunos estudios previos indican que más del 80% de los vehículos mexicanos con catalizadores en Ciudad Juárez han sido alimentados inadecuadamente con combustibles con plomo, “envenenando” el catalizador y eliminando virtualmente cualesquier reducciones posibles en las emisiones.

Actualmente, el modelo MOBILE incorpora los niveles de alteración generales por omisión para los vehículos estadounidenses. Si los resultados del estudio de alteración indican niveles significativamente diferentes en México, entonces las tasas de alteración alternativas pueden ser insertadas en el modelo MOBILE ajustando la bandera de alteración (TAMFLG) ubicada en la sección de Control. Por ejemplo, se llevó a cabo un estudio de la tasa de alteración

de los vehículos de Ciudad Juárez para el desarrollo del modelo MOBILE-Juárez. Los detalles adicionales con respecto al formato para estas tasas de alteración alternativas pueden encontrarse en la Guía del Usuario del MOBILE (U.S EPA, 1994).

Si los niveles regionales de alteración ameritan la instrumentación de un PAA, los efectos de éste pueden ser modelados con MOBILE. Existen diversos PAAs, muy similares a los programas I/M, que pueden ser instrumentados. En consecuencia, son numerosos los parámetros que deben ser especificados para definir un PAA particular. La bandera PAA (ATPFLG), ubicada en la sección de Control, permite que la modelación de los efectos de un PAA sean modelados. Además de los PAAs, hay ciertos valores de la ATPFLG que permiten el modelado de las purgas y las revisiones de presión del sistema de control de emisiones evaporativas. Estas pruebas no se describen en este documento, sin embargo, puede encontrarse información adicional en la Guía del Usuario del MOBILE. Cada PAA que deba ser modelado necesita un registro descriptivo, localizado en la sección Datos de Un Paso y que incluye los siguientes parámetros:

- Año de inicio del PAA
- Primero y último modelo y año sujeto al PAA
- Tipos de vehículos a gasolina sujetos al PAA
- Tipo de programa (sólo de inspección, o de inspección y reparación)
- Frecuencia de la inspección (anual o bienal)
- Tasa de cumplimiento
- Ocho tipos de inspecciones PAA (sistemas de la bomba de aire, convertidor catalítico, limitador de entrada de combustible, detección de plomo en el mofle, sistema de recirculación del gas del escape [RGE], sistema de control evaporativo, ventilación positiva del cárter [VPC] y tapón de gasolina).

Todas estas entradas de datos se indican en el ejemplo del archivo de entrada de MOBILE que se presenta en la Figura 3-14.

La Figura 3-15 muestra los efectos de un PAA. Los factores de emisión promedio del parque vehicular graficados en esta Figura, representan un programa I/M típico con y sin PAA. El PAA utilizado en la Figura 3-15 presupone que se realizan las ocho inspecciones de equipo antes enlistadas. Obviamente, los PAAs caracterizados por parámetros diferentes tendrán diferentes resultados y reducciones de las emisiones. Sin embargo, la reducción diferencial de emisiones debidas a un PAA adicionado a un programa I/M puede observarse en este ejemplo.

3.4.1 Características del Parque Vehicular

Para utilizar un modelo de factor de emisión, es necesario estimar las características del recorrido de cada tipo de vehículo, entre las que destacan:

- **Velocidad del vehículo:** Debe determinarse la velocidad promedio del vehículo por clase vehicular (y de preferencia por tipo de camino), debido a que este parámetro afecta los factores de emisión.

- **Distribuciones KRV por clase vehicular (o combinaciones)**: los datos KRV generales deben ser segregados por clase vehicular para asignar los factores de emisión adecuados.

- **Tasas de acumulación de kilometraje (millaje) y distribución del registro (fracción del total de vehículos registrados) para cada modelo y año) en una clase vehicular**: Estas se utilizan para determinar la fracción del recorrido de cada modelo y año dentro de una clase vehicular.

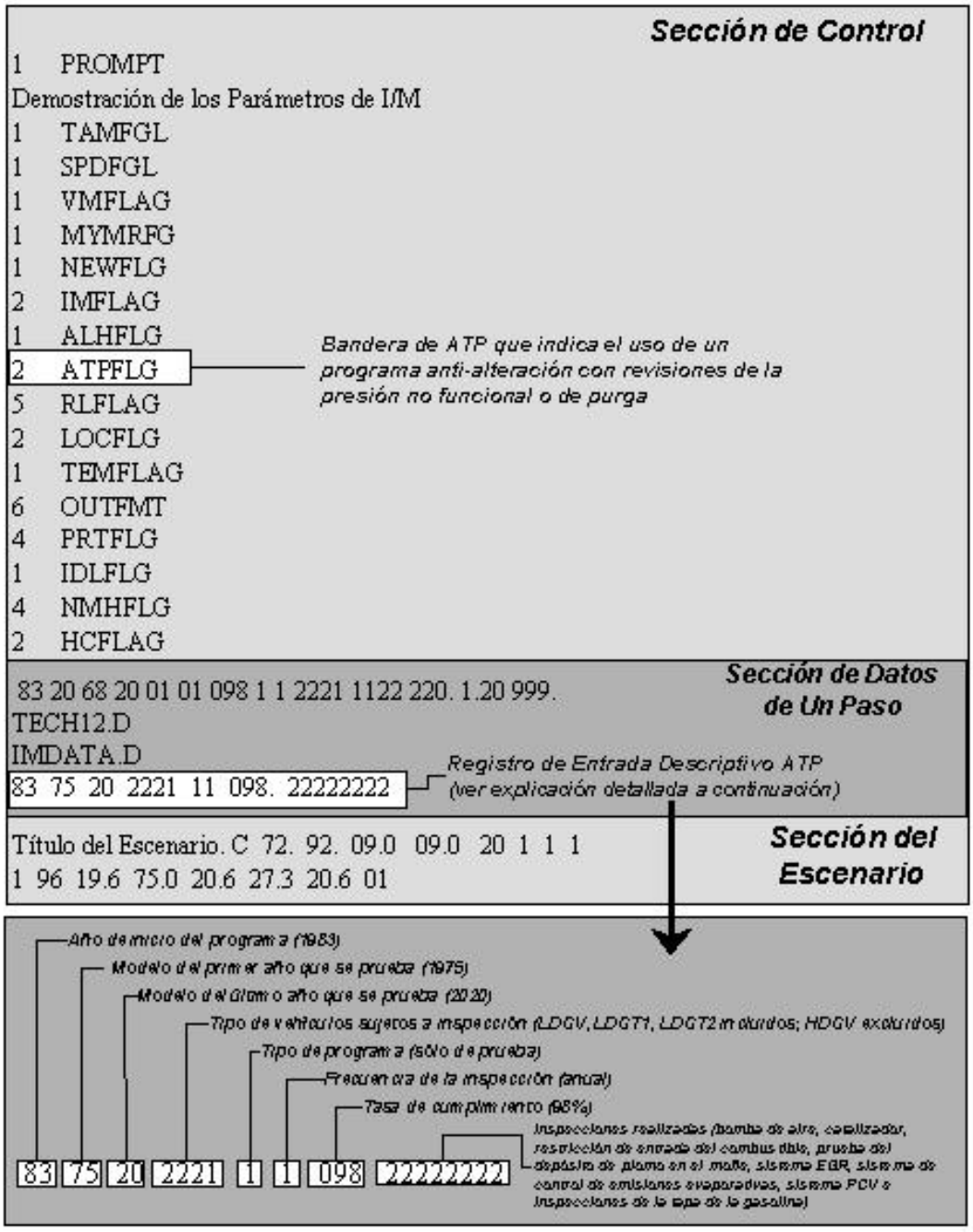

Figura 3-14. Ejemplo de los Parámetros ATP en MOBILE

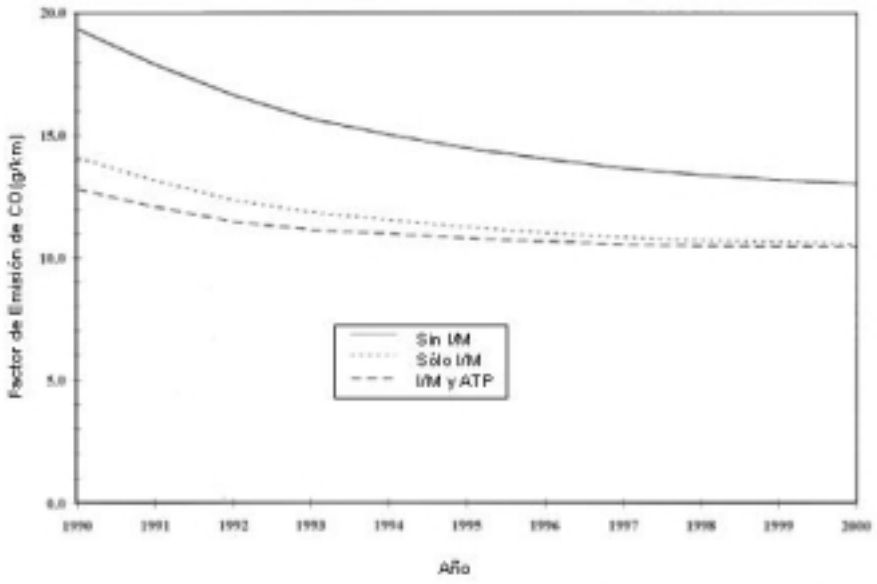

Figura 3-15. Factores de Emisión de CO para Vehículos Ligeros a Gasolina en Tres Escenarios ATP

Velocidad del Vehículo

Las estimaciones de la velocidad promedio del vehículo son un elemento importante de los datos para determinar los factores de emisión apropiados para los inventarios de emisiones de vehículos automotores que circulan por carreteras. En el modelo MOBILE, los factores de emisión representan el recorrido a una velocidad promedio. Los factores de emisión son desarrollados a partir de ciclos de prueba en los que la velocidad del vehículo no es constante, sino que varía alrededor de un promedio. En consecuencia, la meta al desarrollar estimaciones de la velocidad consiste en determinar velocidades promedio del vehículo, en lugar de velocidades instantáneas. Como se mencionó en la Sección 3.2, un factor de ajuste de velocidad se aplica a los factores de emisión para tomar en cuenta la variabilidad de las emisiones a diferentes velocidades. Las velocidades promedio son capturadas en el registro descriptivo del escenario del archivo de entrada de MOBILE. Estas velocidades promedio se indican en el ejemplo del archivo de entrada presentado en la Figura 3-16. La Figura 3-17 contiene un ejemplo de los factores de emisión con respecto a la velocidad promedio del vehículo. Nótese que la tasa de emisión cambia significativamente con las variaciones en la velocidad, en particular a bajas y altas velocidades. En consecuencia, es importante conocer las velocidades de los vehículos para la generación de inventarios de emisiones precisos.

La estimación de las velocidades vehiculares promedio puede ser una parte desafiante del esfuerzo de recopilación de los datos del inventario, debido a que son muchos los factores que pueden afectar las velocidades en una carretera en un momento determinado. Entre los factores clave se incluyen:

- **Características del tipo de camino**: Las velocidades varían significativamente con el tipo de camino. Por ejemplo, las autopistas y vías rápidas tienen velocidades promedio superiores a los bulevares y arterias, que a su vez tienen velocidades promedio mayores que los caminos locales. Las condiciones del camino también tendrán un impacto: los caminos pavimentados registrarán velocidades más altas que los no pavimentados.

Sección de Control

```
1    PROMPT
Demostración de los Cambios Ocasionados por la Velocidad
1    TAMFGL
1    SPDFGL
1    VMFLAG
1    MYMRFG
1    NEWFLG
1    IMFLAG
1    ALHFLG
1    ATPFLG
1    RLFLAG
2    LOCFLG
1    TEMFLAG
4    OUTFMT
4    PRTFLG
1    IDLFLG
4    NMHFLG
2    HCFLAG
```

Sección de Datos de Un Paso

Sección del Escenario

```
Título del Escenario. C 72. 92. 11.5 08.7 92 1 1 1
1  96   5.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  10.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  15.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  20.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  25.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  30.0  75.0  20.6 27.3 20.6 01
1  96  35.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  40.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  45.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  50.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  55.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  60.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
1  96  65.0 75.0 20.6 27.3 20.6 01
```

Velocidades Promedio de los Vehículos

Figura 3-16. Ejemplo de las Velocidades Promedio en MOBILE

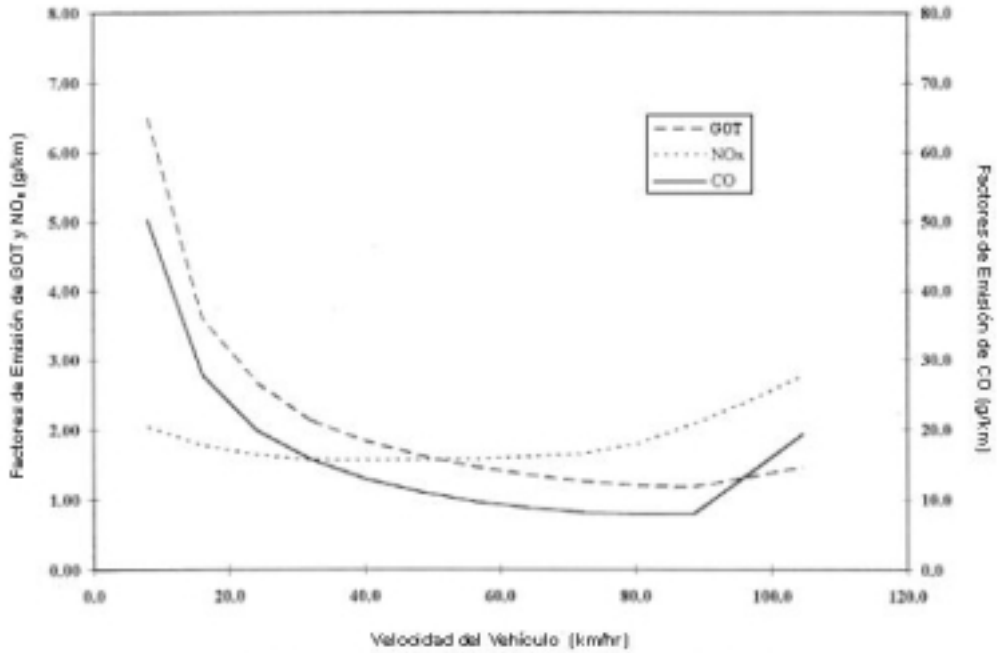

Figura 3-17. Factores de Emisión Promedio del Parque Vehicular para GOT, NO_x y CO con Velocidades Vehiculares Variables

- **Ubicación del camino**: El área que rodea al camino afecta las velocidades promedio. Por ejemplo, las vías rápidas urbanas generalmente tienen velocidades promedio más bajas que las rurales, debido a los mayores niveles de congestionamiento del tráfico. En general, para dos caminos del mismo tipo, las velocidades en los caminos urbanos son más bajas que para los rurales.

- **Hora del día y estación**: En las áreas urbanas, las variaciones en el congestionamiento del tráfico afectará de manera significativa las velocidades promedio en un camino. Cada camino tiene una velocidad de flujo libre que se alcanza cuando el congestionamiento es bajo. A medida en que el congestionamiento aumenta, las velocidades promedio se reducen. En algunas áreas en las que el clima altera las condiciones del camino y las velocidades promedio, pueden presentarse variaciones estacionales.

- **Tipo de vehículo**: Las velocidades promedio con frecuencia son diferentes entre los distintos tipos de vehículo. Por ejemplo, los autos de pasajeros y los camiones ligeros a menudo tienen velocidades más altas que los camiones pesados y los autobuses. Esto es particularmente cierto en los medios urbanos que representan un tráfico que se detiene y avanza.

Existe una gran variedad de opciones disponibles para desarrollar estimaciones de velocidad. Muchas de estas técnicas también son útiles para recopilar información sobre el recorrido de los vehículos. Por lo tanto, si se va a realizar un esfuerzo para determinar las características del recorrido vehicular en una región, los datos de velocidad pueden ser obtenidos como parte del mismo estudio. Información más detallada sobre los estudios de recopilación de datos de velocidad está disponible en el *Institute of Transportation Engineers* (Instituto de Ingenieros del Transporte) (ITE, 1994).

Cuando las estimaciones de velocidad con este nivel de detalle no son requeridas o no están disponibles, la meta es dividir los KRV en los grupos de velocidad promedio adecuados. Un tipo de agrupamiento común consiste en clasificar los KRV por tipo de camino (vía rápida, arterias, caminos colectores y caminos locales), y tipo de área (urbana o rural), si existen datos suficientes. Esta clasificación asigna la misma velocidad a todos los tipos de vehículos y todas las

horas del día. Otras clasificaciones podrían ser más recomendables dependiendo del nivel de los datos disponibles. Por ejemplo, los datos de velocidad pueden ser recopilados como parte de un estudio vehicular instrumentado (que se describe a continuación). En este caso, se conocería el tiempo que vehículos individuales han transitado a velocidades específicas. Este tipo de estudio no definiría las velocidades en caminos específicos, sin embargo, el espectro de velocidades podría ser dividido en grupos, y podría calcularse el tiempo transcurrido dentro de cada grupo.

Para los inventarios regionales iniciales, cuando los datos detallados de la velocidad no están disponibles todavía, los límites de velocidad máxima señalados en los caminos podrían utilizarse como primera aproximación. Estos, sin embargo, pueden no representar la velocidad vehicular promedio en condiciones de flujo libre, en la que los vehículos con frecuencia exceden estos límites. Por el contrario, las áreas con un fuerte congestionamiento vehicular, con señalamientos u otros controles de tráfico en las intersecciones, pueden tener velocidades promedio significativamente menores que los límites de velocidad máxima establecidos. Estas estimaciones iniciales pueden ser complementadas con estudios de velocidad realizados en una muestra de los caminos en la región del inventario. Dichos estudios utilizan una gran variedad de técnicas de medición, entre las que se incluyen:

- **Contadores neumáticos de tráfico**: Son tubos neumáticos colocados a través de los carriles, que están conectados a registradores que detectan una estampa de tiempo del paso de los vehículos. Este equipo se utiliza comúnmente para recopilar datos del flujo del tráfico como parte de los estudios de administración del tráfico. Diversos contadores también pueden ser utilizados para medir las velocidades de los vehículos; sin embargo, este método sólo mide la velocidad instantánea en un punto definido, no las velocidades promedio a lo largo de una carretera.

- **Estudios con radar de pistola**: De manera similar al método de los contadores neumáticos, el radar es utilizado para medir la velocidad instantánea del vehículo, y puede ser operado en modo manual o automático.

- **Estudios con observador o con video**: Dos observadores o cámaras de video se colocan en diferentes puntos a una distancia conocida entre ellos. Se hace una selección aleatoria de vehículos y se registra el tiempo que tardan en pasar entre ambos puntos. La distancia entre los puntos se divide entre la diferencia de las marcas de tiempo para estimar la velocidad promedio.

- **Estudios de autos flotantes**: Un carro observador selecciona aleatoriamente algunos vehículos y sigue a uno de ellos durante un periodo de tiempo establecido para calcular su velocidad. En un método similar diseñado para medir la mediana de la velocidad, el auto observador puede viajar a una velocidad definida registrando tanto la fracción de vehículos que él rebasa, como la que le rebasan.

- **Estudios con autos adaptados con instrumentos**: Se hace una selección aleatoria de vehículos del parque vehicular. Estos vehículos son equipados con registradores de velocidad automatizados, que registran la velocidad del vehículo en intervalos regulares (i. e., una vez por segundo). Los vehículos son entregados a sus propietarios, y el equipo de registro se recupera después de un periodo de operación, por ejemplo, una semana. Los registradores son retirados y se descargan los datos de velocidad capturados. El programa puede incluir bitácoras que deberán ser llenadas por los propietarios del vehículo, donde registrarán su actividad de manejo durante el periodo del estudio. Este método no aporta información sobre las velocidades en localidades específicas, pero puede ser utilizado para estimar las distribuciones de la velocidad en una región.

Combinaciones de KRV

La combinación de KRV describe la distribución de los KRVs del parque vehicular total para cada clase vehicular. Cuando se estiman las emisiones de los vehículos automotores, primero deben determinarse los KRVs totales en una región o en un camino individual. Posteriormente, la combinación es utilizada para disgregar los KRVs totales en diferentes clases vehiculares para ayudar en el cálculo de las emisiones. La combinación KRV puede ser estimada si se conocen las poblaciones vehiculares y las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) para cada clase vehicular. Ambos parámetros son necesarios debido a que las diferentes clases vehiculares tienden a ser manejadas a diferentes tasas. Por ejemplo, los camiones comerciales pesados generalmente tienen tasas de acumulación de kilometraje (millaje) superiores a los

vehículos de pasajeros. La publicación *Techniques for Estimating MOBILE2 Variables* (Técnicas para Estimar las Variables del MOBILE2) (EEA, 1980) describe los métodos generales para calcular la combinación de KRV.

Si las poblaciones vehiculares y las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) no están disponibles, la siguiente opción consiste en estimar la combinación de KRV a partir de estudios locales en los que se colocan observadores en diversos puntos de la región de inventario, quienes clasifican una muestra aleatoria de unidades que pasan por dichos puntos con base en su clase vehicular. De manera alternativa, es posible tomar fotografías de los vehículos y/o registrar sus placas para una clasificación posterior con el objetivo de identificar el tipo de combustible (gasolina vs. diesel). Esta técnica permite hacer una estimación de la combinación de KRV dado que el número de vehículos de una clase que pasa por un punto debe ser proporcional a la contribución de dicha clase en el KRV general. Este método de recopilación de datos fue utilizado para estimar la combinación de KRV para el inventario de Ciudad Juárez de 1993 (TTI, 1994).

Las clases vehiculares del modelo MOBILE coinciden con las clasificaciones de los estándares de emisión vehicular estadounidenses. Afortunadamente, los estándares de emisiones vehiculares en México también están definidos a partir de una clasificación similar a la estadounidense, lo que simplifica el uso de las clases vehiculares existentes en el MOBILE. La Figura 3-18 presenta una comparación de las clasificaciones de los nuevos estándares de emisiones vehiculares de México y las clases vehiculares del modelo MOBILE. México ha establecido nuevos estándares de emisión para seis clases de vehículos, que cubren autos de pasajeros, camiones ligeros, camiones pesados y autobuses. Estas clases se relacionan con cinco clases vehiculares del MOBILE. En el parque vehicular mexicano también existen otros vehículos para los que no se han definido nuevos estándares de emisión, entre los que se incluyen autos y camiones ligeros a diesel, y motocicletas a gasolina. Además de estos nuevos estándares de emisión vehicular, México también ha establecido estándares de emisión “en uso”, que se describen en la Sección 1.2. La Figura 3-19 muestra un ejemplo de las distribución de la actividad KRV entre las ocho clases del MOBILE de los inventario de vehículos automotores en Monterrey

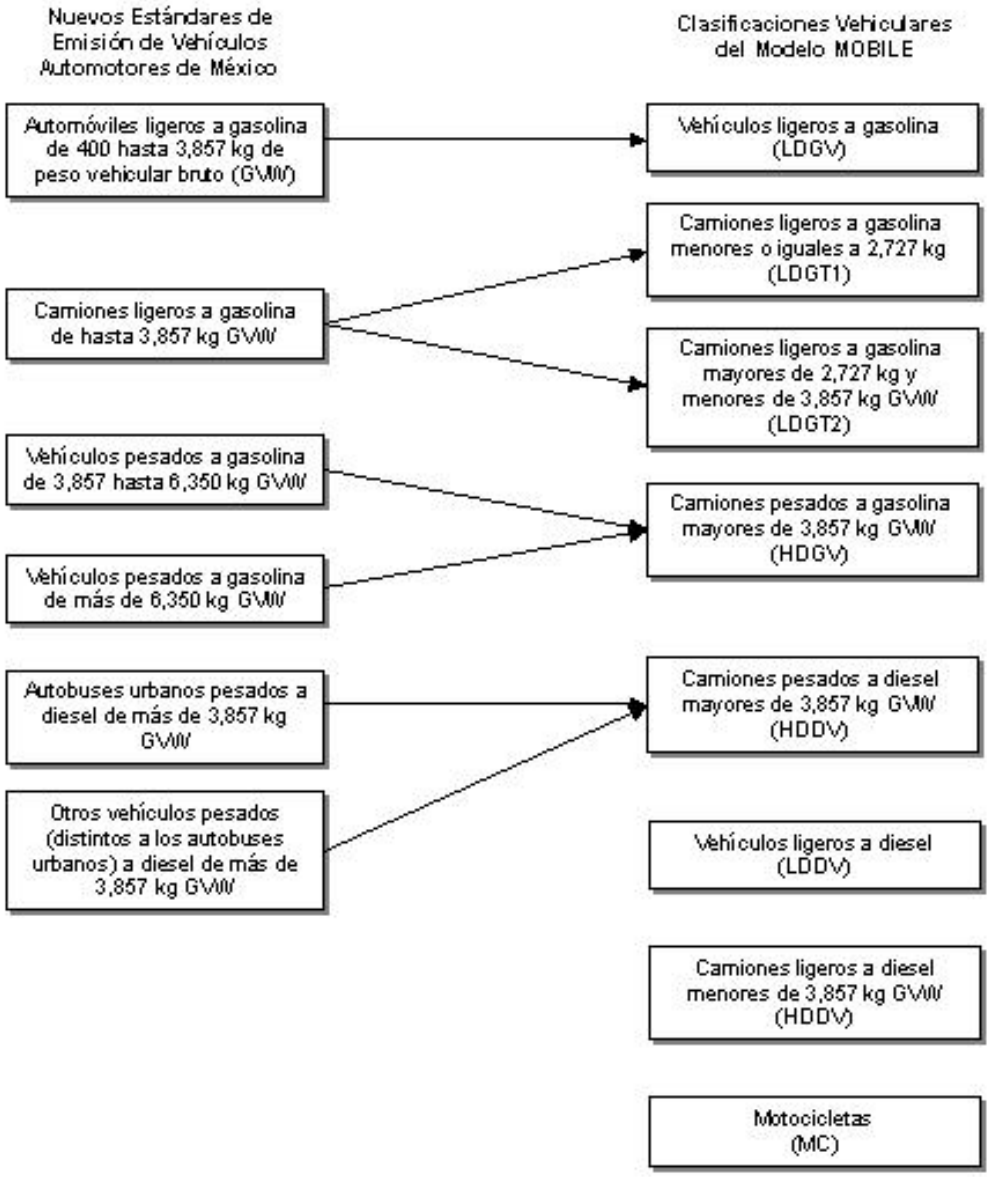

Figura 3-18. Correspondencia de los Nuevos Estándares de Emisión de México con las Clases Vehiculares del Modelo MOBILE

y Ciudad Juárez. Si bien la distribución de la actividad entre las clases vehiculares varía, en la mayoría de las regiones está dominada por los vehículos y camiones ligeros. Los autos y camiones ligeros a diesel y motocicletas a gasolina están presentes en el parque vehicular pero, como se muestra en la Figura 3-19, en conjunto constituyen menos del 2% de la actividad KRV del parque vehicular total.

Distribuciones del Registro

Las distribuciones del registro permiten conocer la fracción de vehículos de un modelo y año particular con relación a la población general de clases vehiculares. Existe cierto grado de incertidumbre debido a que la población vehicular está compuesta tanto por vehículos registrados como por no registrados, mientras que cualquier distribución del registro, por definición, sólo incluirá a los vehículos registrados. La distribución del registro y las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) son utilizadas en conjunto para calcular la fracción del recorrido en el modelo MOBILE. Esta fracción del recorrido es la porción de KRV acumulados por un modelo y año de vehículos en una clase vehicular, con respecto a los KRV totales para la clase vehicular completa. Este cálculo se realiza utilizando la siguiente ecuación:

(3-5)

$$FR_i = \frac{Frt_i \text{ x } TAM_i}{\sum_{i=1}^{25} (Frt_i \text{ x } TAM_i)}$$

donde:

FR_i = Fracción recorrida para el modelo y año i, dentro de una clase vehicular
Frt_i = Fracción de los registros totales de la clase vehicular para el modelo y año, i
TAM_i = Tasa de acumulación de kilometraje (millaje) para los vehículos en el modelo y año, i

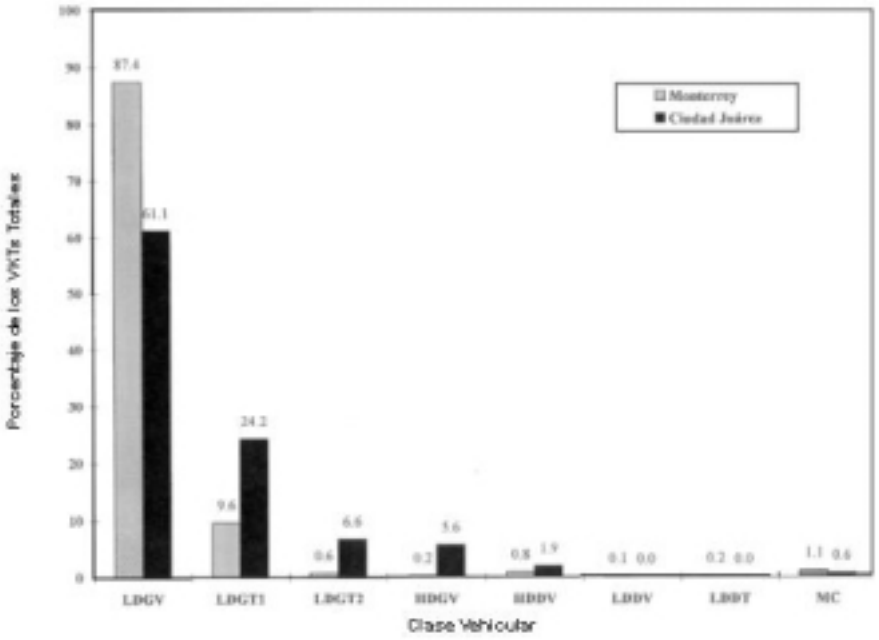

Figura 3-19. Distribuciones de los VKTs en Monterrey y Ciudad Juárez

En México, los datos del registro vehicular en general son recopilados por los estados o municipios individualmente. De manera detallada, estos datos deben proporcionar el modelo y año de cada vehículo que, entonces, puede ser utilizado para estimar las distribuciones del registro. Sin embargo, en algunas áreas los datos del registro vehicular pueden estar limitados a la población vehicular total y, posiblemente, al número de vehículos de cada clase vehicular. En tales casos, sería necesario realizar estudios para estimar las distribuciones del registro y las tasas de acumulación de kilometraje (millaje). Como alternativa podría usarse la información generada en otras regiones similares de México (sujeto a un incremento en la incertidumbre). Por ejemplo, una parte de la información utilizada para el desarrollo del MOBILE-Juárez (Radian, 1996a), será aplicada para estimar las emisiones de vehículos automotores en un inventario de emisiones en Nogales, Sonora.

En algunas áreas de México, los vehículos no registrados y/o registrados en EU representan una proporción significativa de la población vehicular. En Ciudad Juárez, por ejemplo, 23% de los vehículos observados durante los estudios vehiculares no estaban registrados, y 15% estaba registrado en EU (TTI, 1994). En este caso, las distribuciones del registro calculadas a partir de los registros oficiales estarán sub-estimadas. Un estudio directo de las poblaciones vehiculares sería más adecuado para mejorar la estimación de la distribución del registro.

Tasas de Acumulación de Kilometraje (Millaje)

La tasa de acumulación de kilometraje (millaje) es la cantidad anual de KRVs acumulados por los vehículos de un modelo, año y una clase vehicular. Esta parámetro es uno de los más difíciles de determinar, dado que no puede ser estimado a partir de las observaciones del tráfico. El documento de la U.S. EPA *Techniques for Estimating MOBILE2 Variables* (Técnicas para Estimar las Variables del MOBILE2) (EEA, 1980), discute los métodos para obtener las estimaciones de la tasa de acumulación de kilometraje (millaje). Sin embargo, los métodos descritos en este documento dependen del uso de las fuentes de información específicas para EU que podrían no ser aplicables en México. Existen tres opciones para estimar las tasas de

acumulación de kilometraje (millaje):

- **Encuestas de recorrido aplicadas a los propietarios de los vehículos**: Estos pueden ser cuestionarios y entrevistas a domicilio a los propietarios de los vehículos, para conocer sus tasas de acumulación de kilometraje (millaje) anuales. En encuestas de recorrido más detalladas, se solicita que una muestra de conductores llene una bitácora con todos los recorridos realizados durante un periodo determinado de tiempo. A partir de estos resultados, las tasas anuales de acumulación de kilometraje (millaje) pueden ser estimadas.

- **Uso de los datos de la inspección vehicular**: Si la región tiene un programa I/M o de inspección de seguridad vehicular vigente en el que se registren las lecturas del odómetro del vehículo, las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) pueden ser calculadas a partir de estos datos. Este cálculo se basa en la diferencia en las lecturas del odómetro para los vehículos individuales, que fueron registradas en múltiples inspecciones. Una tasa menos precisa podría estimarse a partir de una sola lectura al odómetro y la edad del vehículo, si se supone una tasa de acumulación de kilometraje (millaje) constante a lo largo de la vida del vehículo.

- **Uso de las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) de otras regiones**: No deben utilizarse las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) estadounidenses. En caso de que los datos específicos no puedan ser obtenidos, es posible utilizar las tasas de acumulación de kilometraje (millaje) de otras regiones similares en México. Las estimaciones de emisiones resultante, sin embargo, tendrán una incertidumbre adicional debido a que es probable que los patrones de manejo varíen de una región a otra.

4.0 DESARROLLO DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Como se describió en la Sección 2.0, las estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículo (KRV) se combinan con los factores de emisión para obtener las estimaciones de emisión. En México existen dos métodos para realizar las estimaciones de KRV:

- Estimaciones de KRVs directas basadas en el tráfico
- Estadísticas del consumo de combustible.

Existen diferencias evidentes en la calidad de las estimaciones de los KRVs realizadas a través de estos dos métodos. La elección de los datos de actividad que serán utilizados estará determinada principalmente por los tipos de datos disponibles y por la calidad de éstos. En general, las estimaciones de KRVs directas basadas en el tráfico tienden a hacer una mejor representación de la actividad vehicular, que las estimaciones hechas a partir de las estadísticas de consumo de combustible.

En las principales áreas urbanas, con frecuencia está disponible cierto tipo de estimaciones de KRV basadas en el tráfico. Fuera de estas áreas urbanas, sin embargo, es poco probable que tales estimaciones existan, lo que conduce al uso de los datos de consumo de combustible. Incluso si las estimaciones de KRVs directas basadas en el tráfico están disponibles, las estimaciones de KRVs derivadas de las estadísticas de consumo de combustible pueden ser utilizadas como una efectiva herramienta de aseguramiento de calidad. Las estimaciones KRV basadas en el tráfico se discuten en la Sección 4.1, mientras que aquellas derivadas de las estadísticas de consumo de combustible se presentan en la Sección 4.2.

4.1 Estimaciones de KRV Basadas en el Tráfico

Existen dos tipos principales de estimación de KRVs basadas en el tráfico: las estimaciones detalladas para caminos específicos obtenidos a partir de los modelos de demanda de recorrido (MDRs), y las estimaciones de KRVs regionales desarrolladas a partir de los programas de medición del tráfico u otros medios.

4.1.1 Estimaciones de los KRV a Partir de los Modelos de Demanda de Recorrido

Los modelos de demanda de recorrido (MDRs) son representaciones de la red de caminos en un área urbana modeladas en computadora. Actualmente, los MDRs son utilizados solamente en las grandes áreas urbanas (i. e., la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de Monterrey). Los MDRs son usados para modelar los flujos de tráfico a fin de mejorarlos, y en los estudios de administración de congestionamientos. En los MDRs, la región a ser modelada se divide en zonas con características demográficas similares. Los caminos o grupos de caminos se representan en el modelo como una red de enlaces conectados que constituyen los medios para rastrear el flujo de tráfico entre zonas. Para modelar la conducta del recorrido, se asigna a las zonas adecuadas el número, origen y destino de los recorridos vehiculares. El recorrido en los enlaces es entonces calculado para generar los tiempos de recorrido estimados más cortos entre las zonas. Los resultados de los MDRs hacen una estimación del tiempo de recorrido y de los flujos de tráfico en los enlaces individuales. Los MDRs no son creados de manera explícita para ser utilizados como herramientas en un inventario de emisiones, pero si son extensos y están actualizados, sus resultados son una fuente información de recorridos vehiculares detallados y estimaciones de la velocidad que pueden ser utilizados en los inventarios de emisiones. Para una descripción del proceso de desarrollo de los MDRs y su uso en los inventarios de emisiones, ver el documento *Procedures for Emission Inventory Preparation, Volume IV: Mobile Sources*, (Procedimientos para la Preparación de un Inventario de Emisiones) Sección 3.4.2 (U.S. EPA,

1992). Existen diversos textos que discuten el proceso de un MDR en detalle, incluyendo el *Urban Travel Demand Modeling* (Modelado de la Demanda de Recorrido Urbana) (Oppenheim, 1995).

La generación de los datos necesarios para soportar un MDR requiere una cantidad considerable de recursos y tiempo. En consecuencia, éstos son desarrollados solamente para las principales áreas urbanas en las que los estudios para el mejoramiento del tráfico son requeridos con frecuencia para mantener la infraestructura del transporte. Como se mencionó anteriormente, hoy en día sólo las grandes áreas urbanas en México operan MDRs. Las pequeñas áreas urbanas deben depender de otras fuentes para la estimación de los KRV.

A partir de las estimaciones de la distancia y el volumen de los enlaces MDR, los KRVs en un enlace individual pueden ser estimados a partir de la ecuación:

$$KRV = \frac{\text{Volumen}}{\text{Distancia}} \qquad (4\text{-}1)$$

donde:

KRV	=	Kilómetros recorridos por vehículo en un periodo de tiempo dado
Volumen	=	Número de vehículos en un enlace para un periodo de tiempo dado
Distancia	=	Distancia del enlace, en kilómetros

Las estimaciones regionales de KRVs pueden desarrollarse sumando los KRVs de todos los enlaces de un tipo determinado en un área definida.

Los datos obtenidos a partir de los MDRs deben ser analizados para determinar la manera en que serán aplicados al inventario de emisiones que se está desarrollando. Dos aspectos clave para los inventarios de emisiones son el alcance de la cobertura de la red general de caminos, y qué tan representativos son los datos para el año de inventario. Con frecuencia, los MDRs son desarrollados para modelar solamente los mayores recorridos de la red, y no incluyen los recorridos en los caminos y calles locales más pequeños. Es importante determinar los límites de la cobertura del MDR. En los casos en que la cobertura no es completa, deben desarrollarse estimaciones independientes para los caminos locales.

El proceso MDR depende de los datos del estudio de la conducta de los recorridos locales. Estos resultados son importantes porque ayudan a estimar la cantidad y ubicación de la actividad generadora de recorridos. Por lo tanto, las entradas del MDR deben estar basadas en los datos del estudio que hayan sido tomados lo más próximos posible al año de inventario. De manera ideal, el estudio debe ser conducido en un máximo de cinco años con respecto al año de inventario, porque los resultados con mayor antigüedad van a introducir una incertidumbre adicional.

4.1.2 Estimación de KRV Regionales

Es probable que muchas áreas urbanas hayan desarrollado estimaciones de KRVs regionales como parte del proceso de planeación del transporte. Si bien no son tan espacialmente detalladas como las estimaciones de KRVs hechas a partir de MDRs, éstas pueden igualar o exceder la precisión de las estimaciones MDR a nivel regional, si se basan en un número suficiente de mediciones reales.

Las estimaciones de KRVs regionales normalmente se basan en mediciones directas de los volúmenes vehiculares que pasan por un punto individual de un camino. Los KRVs del camino son entonces estimados a partir de los volúmenes vehiculares y la longitud de camino. De manera ideal, las mediciones directas de los volúmenes de tráfico deberían ser hechas en una gran muestra de caminos en el área; sin embargo, el costo de una medición frecuente de los volúmenes de tráfico en una gran cantidad de caminos en un área urbana, es prohibitivo. En su lugar, las mediciones son hechas en una muestra o subconjunto de caminos en la región y los resultados son extrapolados para estimar los KRVs regionales totales. Como parte de este proceso, la red de caminos primero es clasificada en un sistema en el que se espera que los caminos de la misma clase tengan volúmenes de tráfico similares. Las mediciones son hechas a partir de una muestra de los caminos en cada clase. Una estimación regional puede entonces ser desarrollada extrapolando los resultados de la muestra con base en la relación de la longitud de los caminos de la clase muestreada con respecto a la longitud total de los caminos de dicha clase. Si las mediciones tomadas durante cierto número de años son combinadas para estimar los KRV regionales, podrían requerirse ajustes adicionales.

Otra información sobre las técnicas de medición de los volúmenes vehiculares puede obtenerse en el *Manual of Transportation Engineering Studies* (Manual del Estudio de Ingeniería del Transporte) (ITE, 1994). Para los propósitos de desarrollo de un inventario de emisiones, sería posible realizar mediciones puntuales de los volúmenes vehiculares para validar las estimaciones regionales o para complementar los datos existentes. Los métodos de muestreo pueden incluir la recopilación de datos manual o automatizada, y también pueden diseñarse estudios para recopilar datos sobre la velocidad de manera simultánea (ver Sección 3.4.2).

Las estimaciones nacionales de los volúmenes de tráfico en México están disponibles para los caminos pavimentados, y están compilados por tipo de camino (federal, estatal y de cuota). Estos datos se encuentran en el *Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes* (SCT, 1993). No hay una certeza con respecto a que si estos datos han sido desagregados a nivel regional o subregional.

4.2 Estimaciones de los KRVs Derivadas de los Datos de Consumo de Combustible

En ausencia de estimaciones de KRVs directas a partir de MDRs y de programas regionales para la recopilación de datos, los KRVs pueden ser estimados indirectamente a partir de los datos de consumo de combustible. Si las fuentes para la estimación de KRVs directa están disponibles, los datos de consumo de combustible también pueden ser utilizados para verificar la validez y precisión de las estimaciones.

Las estadísticas de ventas y consumo de combustible son típicamente mucho más utilizadas y accesibles que las estimaciones de KRVs directas. En general, estas estadísticas son calculadas para evaluar las ventas y consumo de combustible, dado que la gasolina y el diesel son artículos de consumo de gran valor. En México, los datos de consumo o ventas locales pueden obtenerse de Pemex. Para un inventario regional más pequeño también se pueden obtener los datos las ventas de combustible de las gasolinerías individuales.

Las entidades gubernamentales pueden solicitar esta información a:

Subdirección de producción
Torre Ejecutiva, Piso 13
Marina Nacional No. 329
Col. Huasteca
Teléfono: 5722 2500 exts. 22691 y 22521
Fax: 5722 2500 ext. 23135

Al utilizar los datos de consumo de combustible, es posible obtener una estimación regional de los KRV que represente el total del parque vehicular que utiliza un solo tipo de combustible.

(4-2)

$$KRV_f = Ventas_f \times KPL_f$$

donde:

KRV	=	Kilómetros recorridos por vehículo
Ventas	=	Ventas totales de combustible (litros)
KPL	=	Rendimiento promedio del parque vehicular (kilómetros/litro) (valores específicos para México, o valores estadounidenses por omisión)
f	=	Tipo de combustible (gasolina o diesel).

El uso de los datos KRV a partir de MDRs o de estimaciones regionales es preferible al uso de los datos de consumo de combustible. En general, es más conveniente utilizar los datos de las ventas o consumo de combustible para verificar las estimaciones directas de KRVs existentes, pero en caso necesario estos datos pueden ser utilizados para estimar los KRVs. Algunos aspectos que incrementan la incertidumbre en las estimaciones de KRVs derivadas de las estadísticas de combustible son los siguientes:

- El combustible vendido dentro de la región del inventario puede no ser consumido dentro de la misma región. Esto puede ser particularmente cierto en áreas geográficas donde existen grandes diferencias en los precios del combustible, o en un área urbana donde circula una gran cantidad de tráfico de paso.
- Los datos de venta o consumo de combustible incluyen equipo que no circula por carreteras (particularmente de diesel).

Existen algunas regiones de inventario en las que el punto de compra del combustible y el punto de consumo pueden diferir de manera significativa. En otras palabras, el combustible adquirido en un área puede ser utilizado en otra. En regiones de inventario pequeñas, esto puede crear grandes discrepancias entre las compras y el consumo de combustible; sin embargo, en regiones de inventario grandes, estas diferencias tienden a anularse entre sí y se hacen menos significativas.

También es importante determinar el uso final del combustible. Es probable que los datos regionales incluyan el consumo de los vehículos automotores que circulan por carreteras y del equipo que no circula por carreteras, en particular para diesel. La adición del combustible consumido por este último va a incrementar el KRV estimado. Si es posible, el consumo de combustible del equipo que no circula por carreteras debe ser restado del consumo de combustible total.

5.0 PROCEDIMIENTOS DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

El paso final necesario para el desarrollo de estimaciones de emisión exactas y útiles consiste en evaluar su precisión general. Históricamente, el desarrollo de evaluaciones independientes de la precisión de las estimaciones de las emisiones de vehículos automotores, ha sido un proceso difícil debido a la gran cantidad de fuentes, el alcance geográfico de su operación y la diversidad de sus emisiones. A pesar de esta dificultad, las estimaciones deben ser sometidas a un proceso de aseguramiento y control de la calidad (AC/CC) adecuado. Los vehículos automotores representan una fuente importante de emisiones y los procedimientos utilizados para desarrollar las estimaciones requieren el uso de grandes y complejos conjuntos de datos. Debido a que no existe un parámetro de AC individual que pueda medir la precisión y sesgo de las estimaciones, los programas de AC exitosos buscan evaluar el inventario a través de todas las mediciones independientes que sean posibles. Esta sección presenta los procedimientos específicos que pueden ser utilizados para evaluar la precisión de las estimaciones de las emisiones de los vehículos automotores, que incluyen:

- Comparación de las emisiones de vehículos automotores con las emisiones generales del inventario.
- Comparación de las emisiones per cápita
- Comparación de las emisiones contra KRVs
- Comparación de los datos de actividad vehicular contra las estadísticas de consumo de combustible
- Estudios de detección remota de las emisiones del escape
- Uso de los datos de muestreos ambientales.

5.1 Comparación de las Emisiones de Vehículos Automotores con el Inventario General

Una verificación de AC adecuada para un inventario de emisiones consiste en la comparación de las emisiones de los vehículos automotores con las emisiones de todas las fuentes antropogénicas. La fracción de las emisiones totales representada por los vehículos automotores va a variar por contaminante y localidad. No existe una sola fracción que aplique globalmente. De manera ideal, los resultados del inventario pueden ser comparados con los resultados históricos de la misma área, o con los resultados de otras áreas que tengan fuentes de emisión, móviles y estacionarias, similares. Esta revisión sólo dará una estimación aproximada de la racionalidad de las estimaciones de las emisiones. Una investigación más profunda será necesaria si los resultados de las fracciones de vehículos automotores son notablemente diferentes a los de otras regiones similares. Las discrepancias pueden deberse a errores en el inventario o a diferencias desconocidas en las características de las regiones.

La Tabla 5-1 presenta un ejemplo del uso del porcentaje de contribución relativo de las emisiones para evaluar la racionalidad de las estimaciones de las emisiones de vehículos automotores. En esta Tabla, la proporción relativa de las emisiones de vehículos automotores se presenta como un porcentaje de las emisiones totales en seis regiones, dos en EU (Atlanta y Los Angeles), dos en México (las zonas metropolitanas de las ciudades de México y Monterrey), y dos en Asia (Bangkok y Hong Kong). Las estimaciones de emisión de vehículos automotores varían entre estas localidades. La contribución relativa de los vehículos automotores a las emisiones generales de COVs fluctúa desde un 35% para Atlanta hasta un 80% para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Esta variación es razonable, dadas las diferentes mezclas del parque vehicular, los estándares de emisión y los niveles de industrialización de cada área.

Tabla 5-1
Contribución Relativa de las Emisiones de Vehículos Automotores en las Estimaciones de Emisiones Antropogénicas Generales en Ciudades Seleccionadas

Localidad	Año de Inventario	Referencia	Emisiones de Vehículos Automotores Estimadas como Porcentaie de las Emisiones Antropogénicas		
			COV	CO	NOx
Bangkok, Thailandia	1992	MSTE, 1994	55	35	1
Hong Kong	1991	EPD, 1994	N/A	80	25
Monterrey, México	1995	Radian, 1996b	70	95	30
Ciudad de México, México	1989	LANL y IMP, 1994	80	98	75
Atlanta, Georgia	1995	Georgia DNR, 1995	35	70	20
Los Angeles, California	1990	SCAQMD, 1994	50	80	60

CO = monóxido de carbono
NOx = óxidos de nitrógeno
COV = compuestos orgánicos volátiles
N/A = no disponible

Las comparaciones de CO y NO_x indican que Bangkok es notablemente diferente a las demás regiones. En las cinco regiones restantes, las emisiones de NO_x representan desde el 20 hasta el 75% para el inventario de emisiones antropogénicas generales. Se estima que en Bangkok, por otro lado, sólo el 1% de sus emisiones de NO_x es generado por fuentes móviles. De manera similar, el 35% de CO para Bangkok parece estadísticamente ajeno comparado con las otras cinco localidades, que tienen porcentajes que van del 70 al 98%. Una parte de la discrepancia entre Bangkok y las otras regiones puede deberse a las diferencias en la mezcla de vehículos. El parque vehicular de Bangkok incluye una gran proporción de motores de dos ciclos, que tienen emisiones de NO_x más bajas que los motores de cuatro ciclos comparables que predominan en otras áreas. Sin embargo, esto no explica la magnitud total de las diferencias en las emisiones de NO_x ni de CO.

Los porcentajes anteriores no indican que las estimaciones de las emisiones de vehículos automotores o antropogénicas en Bangkok sean potencialmente erróneas, sólo que es posible que una o ambas estimaciones de la emisión de CO y NO_x estén sesgadas. La conclusión de este ejemplo de análisis es que se necesita una revisión más detallada del inventario general de Bangkok, para determinar si las estimaciones realmente están sesgadas. A medida en que más estimaciones de emisión se generen en México, sus resultados podrán ser utilizados de manera similar para identificar discrepancias potenciales, como en el caso de los datos de Bangkok presentados en la Tabla 5-1.

5.2 Comparación de las Emisiones Per Cápita

Las emisiones de vehículos automotores se desarrollan generalmente a partir de estimaciones de KRVs basadas en el tráfico o derivadas de las estadísticas de consumo de combustible. Las emisiones de vehículos automotores per cápita pueden ser calculadas y comparadas con los resultados de otras regiones, con el objetivo de verificar la racionalidad de los resultados.

Para ilustrar este proceso, la Figura 5-1 presenta las estimaciones de las emisiones per cápita de vehículos automotores para 12 estados del oeste en EU. Las estimaciones están agregadas a nivel estatal, y son comparadas con las estimaciones de la población en todo el estado; ambas series de datos son para 1990.

En este ejemplo, no existe una relación directa entre la población y las emisiones per cápita. California, con la mayor población, tiene una de las tasas de emisión per cápita más bajas para cada uno de los contaminantes presentados. Texas, el siguiente estado más poblado, tiene una tasa de emisión per cápita que está a la mitad de la escala, mientras que Wyoming, el estado menos poblado, tiene las tasas de emisión per cápita más altas para todos los contaminantes.

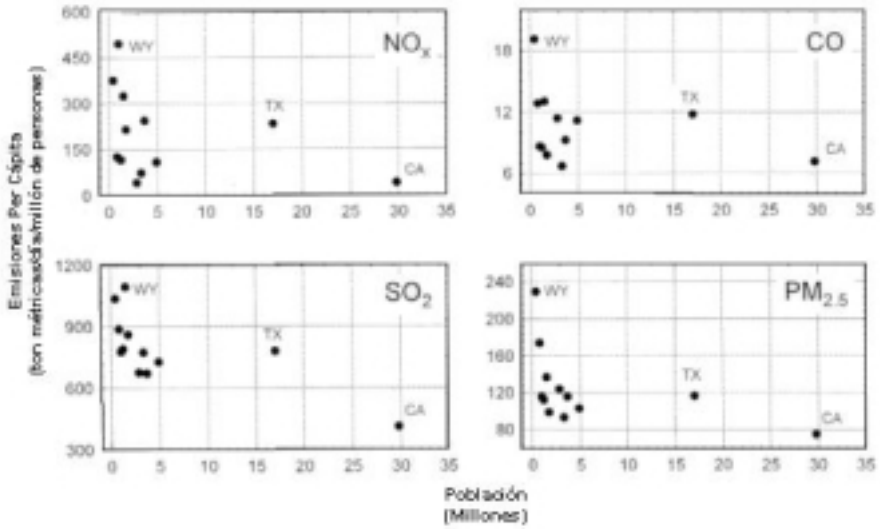

Figura 5-1. Emisiones de Vehículos Automotores Per Cápita en 12 Estados del Oeste de EU para 1990: AZ, CA, CO, ID, MT NV, NM, OR, TX, UT, WA, WY

Dada la gran diferencia en las estimaciones de emisión entre California y Wyoming, la pregunta lógica sería ¿cuál es la causa? A menos que la razón para las diferencias observadas pueda explicarse de manera inmediata, existe la sospecha de un sesgo potencial en las estimaciones. En este ejemplo, la elevada tasa de emisiones per cápita en Wyoming podría ser explicada por el hecho de que éste es un estado sumamente rural, con grandes distancias entre las áreas urbanas. Las distancias de recorrido promedio son grandes, lo que resulta en emisiones por vehículo y per cápita relativamente más altas, cuando se compara con otros estados. Por otro lado, California tiene altos volúmenes de tráfico y grandes distancias de recorrido, pero estos factores son equilibrados por los límites de emisiones para vehículos automotores más estrictos en EU. Como resultado, las emisiones per cápita son relativamente bajas. Esto demuestra la necesidad de analizar las diferencias y darles una explicación razonable. En caso de que ésta no sea posible, entonces debe existir un error o sesgo en las estimaciones.

La Figura 5-2 presenta seis gráficas de las emisiones de vehículos automotores y KRVs para 43 condados en la parte central de Georgia, incluyendo el área metropolitana de Atlanta y sus zonas circundantes. A diferencia de la gráfica de emisiones per cápita previa, aquí parece haber una relación lineal entre las emisiones y la población, y entre los KRV y la población. En esta gráfica, los cuatro condados que contienen la mayor población en el área de Atlanta parecen quedar fuera, en la esquina superior derecha de cada gráfica. Sin embargo, si estos cuatro condados se eliminan, la gráfica de emisiones contra la población resultante sería mucho menos lineal. Esta figura constituye un ejemplo de la necesidad de analizar las gráficas y datos detalladamente para asegurar que las impresiones iniciales sean correctas, y que no haya errores o diferencias sistemáticas obvias en los datos que puedan llevar a conclusiones equivocadas.

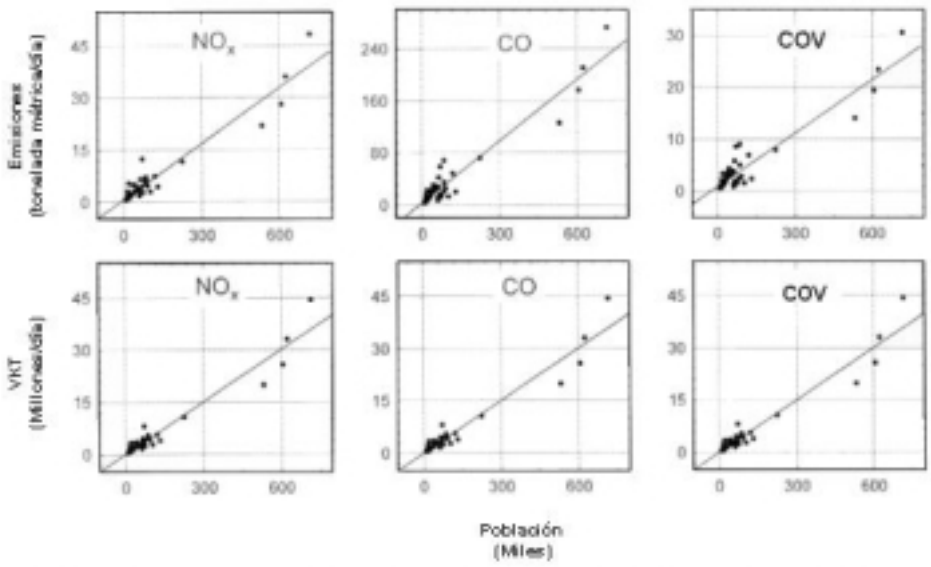

Figura 5-2. Relaciones entre las Emisiones de Vehículos Automotores, VKTs y Población, Proyectadas para 1999 en 43 Condados de la Parte Central de Georgia

5.3 Comparación de las Emisiones *vs.* KRV

Las estimaciones de las emisiones de vehículos automotores se calculan multiplicando un factor de emisión por los KRVs. Una simple comparación de las emisiones estimadas con los KRVs puede, con frecuencia, identificar errores en el cómputo.

La Figura 5-3 presenta una gráfica de las emisiones de vehículos automotores contra los KRVs en 43 condados en la parte central de Georgia. Debido a que los KRVs fueron utilizados para estimar las emisiones de Atlanta, esto no se puede calificar como una revisión independiente de las emisiones. Dado que las emisiones son linealmente proporcionales a los KRVs, en la Figura 5-3 se esperaría una relación lineal. Algunas desviaciones de una correlación lineal perfecta podrían anticiparse debido a las diferencias en la mezcla del parque vehicular, en las características del combustible, los programas de inspección y mantenimiento (I/M) en vigor y otros factores. Sin embargo, las desviaciones significativas con respecto a la relación lineal (más allá de las diferencias observadas en la Figura 5.3, por ejemplo), indicarían la necesidad de revisar nuevamente la precisión de los cálculos del inventario.

5.4 Comparación de los Datos de Actividad de los Vehículos Automotores contra las Estadísticas de Consumo de Combustible

Las estadísticas de consumo de combustible pueden ser utilizadas para verificar la racionalidad de las estimaciones de las emisiones de los vehículos automotores, a menos que las estimaciones de los KRVs originales hayan sido derivadas de esas mismas estadísticas. Las estimaciones de los KRVs utilizadas para la comparación deben ser calculadas utilizando las estadísticas de consumo de combustible como se describe en la Sección 4.2. Por otro lado, la incertidumbre descrita en la misma sección, y que resulta del uso de equipo móvil que no circula por carreteras y otros factores, también debe ser considerada cuando se aplique este método de AC.

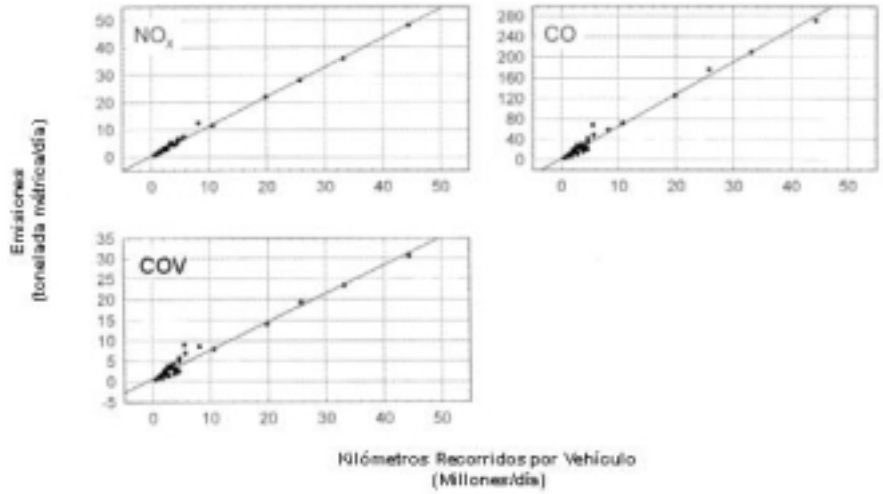

Figura 5-3. Emisiones de Vehículos Automotores vs. VKTs Proyectadas para 1999 en 43 Condados de la Parte Central de Georgia

5.5 Estudios de Detección Remota de las Emisiones del Escape

Los datos básicos utilizados en los modelos de factores de emisión de vehículos automotores (e. g., MOBILE o PART5) se obtienen con vehículos que operan sobre dinamómetros, de conformidad con patrones de manejo definidos. Si bien estas condiciones de prueba pueden generar grandes cantidades de datos, éstos están limitados por el grado en que reproduzcan las condiciones de manejo del "mundo real". Si los datos básicos utilizados en un modelo de factor de emisión no reflejan las condiciones del mundo real en cierta medida, cabe esperar que los factores de emisión promedio proyectados por el modelo estén sesgados en un grado equivalente. Por ejemplo, los datos básicos utilizados para alimentar las versiones previas del modelo MOBILE han resultado en una subestimación de las emisiones de COVs y CO. El ciclo de manejo actual utilizado en las pruebas de dinamómetro no toma en cuenta la totalidad del manejo a alta velocidad, ni las aceleraciones o desaceleraciones repentinas. Adicionalmente, los datos básicos utilizados en el modelo MOBILE no siempre representan a los "super emisores" (i. e., vehículos que tienen tasas de emisión mucho más altas y que, típicamente, forman parte del parque vehicular). La U.S. EPA, el *California Air Resources Board* (CARB) (Consejo de Recursos del Aire de California), y otras organizaciones están trabajando para resolver estas deficiencias en las futuras versiones del MOBILE y el EMFAC (el modelo de factores de emisión de vehículos automotores del CARB). Es un hecho que estas deficiencias indican la necesidad continua de mediciones independientes de las emisiones de vehículos automotores.

El concepto de Sensibilidad y Detección Remota (SDR) - *Remote Sensing and Detection* - como método para identificar "super emisores" y para revisar el inventario de emisiones de vehículos automotores, surgió en Denver, Colorado durante 1987. A pesar de que el uso de la tecnología SDR aún está en desarrollo, ha evolucionado con rapidez como una herramienta de

AC de eficiencia relativa para las estimaciones de las emisiones en vehículos automotores. Si bien ésta es una tecnología relativamente sencilla, se requiere, sin embargo, de experiencia y equipo especial para obtener resultados que sean útiles. A continuación se presenta un panorama general de esta tecnología, y de la manera en que puede ser utilizada como herramienta de AC. Es posible encontrar información adicional en Bishop, *et al.* (1993 y 1994) y Cadle, *et al.* (1993).

Esta tecnología aplica un sistema de monitoreo infrarrojo (IR) remoto que mide las relaciones del monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) con el dióxido de carbono (CO_2). El SDR puede identificar vehículos mal carburados o con problemas en el encendido que, al ser reparados, permiten un ahorro de combustible. Por lo tanto, esta tecnología ha sido denominada Prueba del Rendimiento del Combustible del Automóvil (PRCA) - *Fuel Efficiency Automobile Test* -. El principio de funcionamiento consiste en un haz de energía IR que es transmitido a través de un solo carril de tránsito, aproximadamente a 25 centímetros sobre la superficie del camino, y un detector calibrado recibe el rayo y reporta los datos de CO, CO_2 y HC en una base porcentual.

Para usar las mediciones SDR en AC, se requieren pasos adicionales para convertirlas en una forma que pueda ser combinada con los datos de consumo de combustible. Los resultados SDR aportan relaciones de concentración del escape (i. e., CO/CO_2 y HC/CO_2), más que mediciones absolutas de las concentraciones del contaminante. La conversión a los factores de emisión en gramos de contaminante por unidad de volumen o combustible consumido a partir de las mediciones SDR, es detallada por Singer y Harley (1996). Utilizando el balance de carbón, las estimaciones del contaminante de interés pueden ser obtenidas a partir de la siguiente ecuación:

$$E_P = \frac{[P]}{[CO_2] + [CO] + 3[HC]} \; x \frac{PM_P}{PM_C} x F_C x \rho_f \qquad (5\text{-}1)$$

donde:

E_P	=	Emisiones del contaminante P
[P]	=	Concentración en el escape del contaminante P
PM_P	=	Peso molecular del contaminante P
PM_C	=	Peso molecular del carbón
F_C	=	Fracción en peso del carbón en el combustible
ρ_f	=	Densidad del combustible f.

La suma de las concentraciones de CO, CO_2 y HC en el denominador representa la concentración de átomos de carbono en el escape. La ecuación presupone que los hidrocarburos han sido medidos como propano, C_3H_8, de aquí que el factor 3 sea aplicado a la concentración de HC del escape. Si los resultados SDR se reportan como relaciones con el CO_2, entonces la ecuación puede ser replanteada como:

$$E_P = \frac{[Q_P]}{[1] + [Q_{CO}] + 3[Q_{HC}]} \; x \frac{PM_P}{PM_C} x F_C x \rho_f \qquad (5\text{-}2)$$

donde:

$[Q_P]$	=	$[P]/[CO_2]$
$[Q_{CO}]$	=	$[CO]/[CO_2]$
$[Q_{HC}]$	=	$[HC]/[CO_2]$

En las ecuaciones 5-1 y 5-2, el término HC es generalmente ignorado, a menos que la [HC] sea lo suficientemente elevada como para influenciar la precisión deseada (e. g., [HC]~1000 ppm).

El PRCA ha sido utilizado para medir las emisiones de más de 500,000 vehículos en Denver, Chicago, Los Angeles, Toronto, Suecia y México (Bishop et al., 1993). México aplicó esta tecnología para evaluar las emisiones de vehículos automotores en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Beaton, et al., 1992). Los resultados de este estudio indican que las características del escape del parque vehicular en esta zona son muy diferentes a las de cualquier otra región antes evaluada con dicha tecnología. Por lo tanto, los resultados obtenidos con esta herramienta de AC advierten de manera explícita que la aplicación indiscriminada del modelo MOBILE en regiones diferentes a EU puede conducir a la estimación de emisiones sumamente sesgadas.

Los resultados del análisis en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México incluyen las mediciones de más de 30,000 vehículos. Los datos fueron reducidos posteriormente para generar factores de emisión para HC y CO en gramos por galón. Estos datos pueden ser combinados con los datos de venta de gasolina, y utilizarse en el cálculo de estimaciones de emisión alternativas que pueden servir como una verificación de AC de las estimaciones calculadas con los factores de emisión proyectados por el modelo MOBILE.

Debe recordarse que puede haber una incertidumbre significativa asociada con las estimaciones de emisión basadas en el PRCA u otros aditamentos de sensibilidad remota. Estos equipos sólo pueden proporcionar una medición instantánea de las emisiones, y no son útiles para capturar las variaciones en el tiempo ni las diversas condiciones de manejo. En consecuencia, estas estimaciones de emisión alternativas deben ser utilizadas sólo para los propósitos de AC. No se recomienda que se apliquen directamente para la estimación de emisiones en ningún esfuerzo de inventario.

5.6 Uso de los Datos del Muestreo Ambiental

Los datos del muestreo ambiental también pueden ser utilizados en los procesos de validación y AC de las estimaciones de un inventario de emisiones. Estos datos proporcionan una medición de la realidad que puede ser comparada con las estimaciones proyectadas. Tres de los métodos de AC más comúnmente utilizados son el modelado para determinar la exposición del receptor, las relaciones de concentración, y los modelos tridimensionales. La ventaja principal de estos procedimientos es que generan la información de manera independiente a la metodología utilizada para estimar las emisiones de los vehículos automotores. Una desventaja para su aplicación es la naturaleza generalmente limitada de los datos del monitoreo ambiental disponibles para ser utilizados en el análisis. Los datos ambientales sólo representan las condiciones y tipos de fuente presentes durante las mediciones de campo. Si las condiciones que son válidas para las estimaciones difieren de aquellas encontradas durante en el trabajo de campo, entonces habrá una incertidumbre inherente en los resultados de cualquier comparación que sea hecha entre los datos ambientales y la estimación de emisiones de los vehículos automotores.

5.6.1 Modelado para Determinar la Exposición del Receptor

El modelado para determinar la exposición del receptor, también denominado contribución de fuentes *(source apportionment)*, utiliza métodos estadísticos y datos del monitoreo ambiental para estimar la contribución relativa de las emisiones generadas por una serie de categorías de fuentes a las concentraciones ambientales observadas en un área. Es un método AC de “arriba hacia abajo” debido a que usa la información del inventario completo y el dominio del modelado para estimar la contribución relativa de las emisiones de cada categoría de fuente, en lugar de sumar las estimaciones de la contribución en una base fuente por fuente. El Modelo de Balance de Masa Química (MBMQ) - *Chemical Mass Balance Model* - (Watson, et al., 1984) es ampliamente utilizado en la realización de modelados para determinar la exposición del receptor.

En el modelado para determinar la exposición del receptor se utiliza una

estimación de mínimos cuadrados para obtener el mejor ajuste de las emisiones de cada fuente modelada, misma que reproduce la composición química de los datos observados en el monitoreo en un sitio determinado. Los dos requerimientos clave de las entradas para este modelado son la composición química de los datos del monitoreo ambiental, y la composición química ("huellas dactilares") de las emisiones de cada categoría de fuente que tenga el mismo nivel de detalle que los datos del monitoreo.

El modelo sólo es capaz de identificar las contribuciones de las categorías de fuente que tienen composiciones químicas únicas. Por otro lado, el modelo únicamente genera los impactos relativos, indicando la contribución relativa de cada clase de fuente. Las categorías de fuente típicas utilizadas en el modelado para determinar la exposición del receptor pueden incluir escapes de vehículos automotores, combustión de combustibles, plantas de generación eléctrica, actividades de construcción, aerosoles marinos y polvo fugitivo de origen geológico.

A nivel histórico, el modelado del receptor ha sido utilizado principalmente para analizar las fuentes de contaminantes relativamente estables (o no reactivos), tales como material particulado. Por ejemplo, Chow et al., (1992) utilizó el MBMQ para analizar la contribución de las fuentes de PM_{10} en el Valle de San Joaquín en California. Ellos concluyeron que el polvo fugitivo de origen geológico (e. g., polvo fugitivo del arado agrícola, carreteras y actividades de construcción), representaba más del 50% de las PM_{10} observadas en Bakersfield durante el verano y el otoño. Por otro lado, los escapes de los vehículos automotores contribuyeron sólo con aproximadamente el 10% de las PM_{10} observadas.

Gran parte del trabajo reciente ha sido realizado con el objetivo de aplicar el modelado para determinar la exposición del receptor a los contaminantes reactivos. Por ejemplo, Scheff et al. (1995), aplicaron el MBMQ para evaluar las emisiones de compuestos orgánicos no metánicos (CONM) en el *Southeast Michigan Ozone Study* (Estudio del Ozono del Sureste de Michigan). Con base en el supuesto de tiempos de recorrido relativamente cortos y, por lo tanto, un tiempo limitado para que se presenten reacciones químicas, las especies químicas con reactividad relativamente baja fueron seleccionadas para utilizarse en el modelado. En este estudio se encontró que la proporción relativa de las concentraciones de CONMs observadas era consistente con las estimaciones de emisión actuales para algunas categorías, tales como las fuentes de recubrimiento arquitectónico y hornos de coque. Sin embargo, entre los resultados del MBMQ y el inventario actual hubo diferencias significativas en la proporción relativa de emisiones de otras categorías, tales como refinerías y artes gráficas.

Como se mencionó al inicio de la Sección 5.5, una de las principales ventajas del MBMQ como parte del proceso de AC del inventario de emisiones, es que es completamente independiente de los métodos utilizados para estimar las emisiones. Los métodos estadísticos de este tipo dependen sólo de los datos del monitoreo ambiental para estimar las contribuciones relativas de las fuentes de emisiones. Por lo tanto, el MBMQ brinda la capacidad para verificar independientemente las distribuciones relativas de las emisiones estimadas a través del proceso de inventario, y para identificar las áreas potencialmente problemáticas.

Un inconveniente de esta metodología es que la resolución actual del modelo MBMQ está limitada por la calidad de los perfiles de la composición de la fuente de emisión disponibles. Debido a las diferencias entre las fuentes (y, potencialmente, entre una prueba y otra para una fuente determinada), estos perfiles son sumamente variables. En consecuencia, debe tenerse gran cuidado para asegurar que sólo los perfiles más representativos sean

utilizados como entrada para el modelo MBMQ. Adicionalmente, los datos de monitoreo aplicados en el MBMQ deben ser representativos de las concentraciones ambientales en el área de estudio. Estos datos no pueden estar dominados por fuentes locales para las que no existan perfiles disponibles.

5.6.2 Relaciones de las Muestras Ambientales

Las fuentes de emisión específicas tienden a tener relaciones de emisión de diversos contaminantes prácticamente fijas. Al analizar estas relaciones, es posible derivar la información con respecto a la contribución probable de las fuentes de emisión específicas en los datos de monitoreo observados. Un buen ejemplo del uso de los datos del monitoreo ambiental en esta forma es un estudio de Fujita et al. (1992) en Los Angeles, California. Análisis similares han sido realizados en las áreas de Chicago y el centro de California (Korc et al., 1995). Fujita et al., compararon las relaciones de diversos contaminantes desarrolladas a partir de los inventarios de emisiones y de los datos de monitoreo ambiental recopilados en 1987 durante el Estudio de la Calidad del Aire de la Costa Sur *(South Coast Air Quality Study*).

La Tabla 5-2 presenta los resultados de Fujita et al., que comparan las relaciones ambientales y de los inventarios de emisiones para CO/NO_x y $GONM/NO_x$. En esta tabla se incluyen los factores de ajuste para la porción del escape de los vehículos automotores del inventario de emisiones necesarios para hacer que las relaciones del inventario de emisiones igualen las relaciones ambientales observadas (i. e., eliminación de un sesgo potencial). Debido a que las relaciones $GONM/NO_x$ requieren un factor de ajuste mayor comparado con las relaciones CO/NO_x, podría parecer que los GONM han sido subestimados.

No se recomienda que este tipo de análisis sea realizado de manera rutinaria como parte del proceso de desarrollo de un inventario de emisiones. Sin embargo, a medida en que los inventarios de emisiones mexicanos sigan evolucionando, la cantidad de mediciones ambientales en campo también se va a incrementar, lo que permitirá la difusión del uso de esta técnica.

Tabla 5-2
Comparación de las Relaciones Ambientales y del Inventario de CO/NO_x y $GONM/NO_x$ para Los Angeles, Datos de 1987

Relación del Contaminante	Estación	Hora (Hora Estándar del Pacífico)	Relación Ambiente/Inventario[a]	Factor de Ajuste Requerido para el Motor del Vehículo[b]
CO/NO_x	Verano	06-08	1.4	1.5
		20-08	1.6	1.9
	Otoño	06-08	1.1	1.2
		20-08	1.4	1.7
$GONM/NO_x$	Verano	06-08	2.5	4.4
		20-08	3.0	5.5
	Otoño	06-08	1.7	2.8
		20-08	2.3	4.0

a Relación de la relación del contaminante estimada a partir de los datos de monitoreo ambiental con respecto a la estimada a partir del inventario de emisiones de vehículos automotores.
b Factor de ajuste requerido para igualar la relación de las emisiones de escape caliente de vehículos automotores con la relación ambiente.

5.6.3 Modelos Tridimensionales

Los modelos tridimensionales también están siendo utilizados con mayor frecuencia para ayudar a evaluar la incertidumbre en el proceso de inventario de emisiones (Chang et al., 1993; Mulholland y Seinfeld, 1995). Los modelos tridimensionales actuales incluyen los efectos de la química atmosférica y de la variación de las condiciones meteorológicas. Las estimaciones del inventario de emisiones son utilizadas como entradas de datos para los modelos tridimensionales. Después de correr el modelo, las concentraciones atmosféricas proyectadas se comparan con las concentraciones reales medidas en diversos sitios con monitoreo. De esta manera, es posible calcular la incertidumbre del inventario. Un ejemplo reciente es la Iniciativa de Investigación de la Calidad del Aire en la Ciudad de México (MARI), en la que los equipos del Laboratorio Nacional Los Alamos y del Instituto Mexicano del Petróleo concluyeron que el inventario de COVs estimado para la Ciudad de México tiene un error de

cálculo de aproximadamente un factor de cuatro (LANL y IMP, 1994). Esta conclusión fue alcanzada a través de técnicas de análisis de datos, que incluyen análisis de trayectoria, como parte de la evaluación del desempeño del modelo. Al igual que con el modelado para determinar la exposición del receptor y las relaciones de la muestra ambiental, el uso actual de los modelos tridimensionales es limitado. Sin embargo, a medida en que los inventarios de emisiones se desarrollen y maduren en México, también se incrementará el uso de técnicas avanzadas, tales como los modelos tridimensionales.

6.0 REFERENCIAS

ARB, 1993. *Methodology for Estimating Emissions from On-Road Motor Vehicles, Volume I: EMFAC7F*, California Air Resources Board, Sacramento, California. September 1993.

Beaton, S.P., G.A. Bishop, and D.H. Stedman, 1992. "Emission Characteristics of Mexico City Vehicles." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 42:1424-1429.

Bishop, G.A., D.H. Stedman, J.E. Peterson, et al., 1993. "A Cost Effectiveness Study of Carbon Monoxide Emissions Reduction Utilizing Remote Sensing." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 43:978-988.

Bishop G.A., Y. Zang, S.E. McLaren, et al., 1994. "Enhancements of Remote Sensing for Vehicle Emissions in Tunnels." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 44: 169-175.

Cadle, S.H., R.A. Gorse, and D.R. Lawson, 1993. "Real-World Vehicle Emissions: A Summary of the Third Annual CRC-APRAC On-Road Vehicle Emissions Workshop." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 43:1084-1090.

Chang, M., C. Cardelino, W. Chameides, and W. Chang, 1993. "An Iterative Procedure to Estimate Emission Inventory Uncertainties." In: *Transactions of the International Specialty Conference - Regional Photochemical Measurement and Modeling Studies*. Air & Waste Management Association, San Diego, California. November 1993.

Chow, J.C., J.G. Watson, D.H. Lowenthal, P.A. Solomon, K.L. Magliano, S.D. Ziman, and L.W. Richards, 1992. "PM_{10} Source Apportionment in California's San Joaquin Valley." *Atmospheric Environment*, 26A:3335-3354.

EEA, 1980. *Techniques for Estimating MOBILE2 Variables*. PB83-182832. Prepared for the United States Environmental Protection Agency by Energy and Environmental Analysis, Arlington, Virginia. July 1980.

EPD, 1994. *Air Quality in Hong Kong, 1992*. Air Services Group, Environmental Protection Department, Hong Kong.

Espinosa, M.E., V.H. Páramo, and J. Sarmiento, 1996. "Mobile Sources Inventories in Mexico", Paper No. 96-RA108A.02. Presented at the 89th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, Nashville, Tennessee. June 1996.

Fujita, E.M., B.E. Croes, C.L. Bennett, D.R. Lawson, F.W. Lurmann, and H.H. Main, 1992. "Comparison of Emission Inventory and Ambient Concentration Ratios of CO, NMOG, and NO_x in California's South Coast Air Basin." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 42:264-276.

Georgia DNR, 1995. *1994 State Implementation Plan Revision Emissions Inventory for the Atlanta Area*. Georgia Department of Natural Resources, 1995.

ITE, 1994. *Manual of Transportation Engineering Studies*. Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.

Korc, M.E., P.T. Roberts, L.R. Chinkin, et al., 1995. "Reconciliation of Emissions Inventory and Ambient Data for Three Major Regional Air Quality Studies." In: *Transactions of the International Specialty Conference - Regional Photochemical Measurement and Modeling Studies*. Air & Waste Management Association, San Diego, California. November 1993.

LANL and IMP, 1994. *Mexico City Air Quality Research Initiative*. Report prepared for the U.S. Department of Energy by the Los Alamos National Laboratory and Mexican Petroleum Institute

MSTE, 1994. *Air Emission Database of Vehicles and Industry in Bangkok Metropolitan Region, 1992*. Pollution Control Department, Ministry of Science, Technology and Environment, Thailand. September 1994.

Mulholland, M. and J.H. Seinfeld, 1995. "Inverse Air Pollution Modeling of Urban-Scale Carbon Monoxide Emissions." *Atmospheric Environment*, 29:497-516.

Oppenheim, N., 1995. *Urban Travel Demand Modeling*. John Wiley & Sons, New York, New York.

Radian, 1996a. *Development of Mobile Emissions Factor Model for Ciudad Juárez, Chihuahua*. Prepared for the Texas Natural Resources Conservation Commission, Air Quality Planning Division by Radian International LLC, Austin, Texas. August 1996.

Radian, 1996b. *Study to Develop Cost-Effective Air Pollution Control Measures in the Monterrey Metropolitan Area*. Prepared for the World Bank and the Subsecretaría de Ecología Monterrey, Nuevo Leon, Mexico by Radian Corporation, Austin, Texas. February 1996.

Radian, 1997. Activity data and emission calculations from Ambos Nogales air toxics inventory. Prepared for the Arizona Department of Environmental Quality by Radian International LLC, Sacramento, California. February 1997.

SCAQMD, 1994. *Current and Future Planning Emissions in the South Coast Air Basin*, Appendix III-B, final. South Coast Air Quality Management District, Diamond Bar, California. September 1994.

Scheff, P.A., R.A. Wadden, D.M. Kenski, J. Chung, and G. Wolf, 1995 *Receptor Model Evaluation of the SEMOS Ambient NMOC Measurements*", Paper 95-FA-113C.03. Presented at the 88th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, San Antonio, Texas. June 1995.

SCT, 1993. *Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes, 1992*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Coordinación General de Planeación.

Singer, B.C. and R.A. Harley, 1996. "A Fuel-Based Motor Vehicle Emission Inventory." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46:581-593.

TTI, 1994. *Ciudad Juárez MOBILE5 Data Collection*. Prepared for the Texas Natural Resource Conservation Commission by the Texas Transportation Institute, College Station, Texas. August 1994.

U.S. EPA, 1992. *Procedures for Emission Inventory Preparation, Volume IV: Mobile Sources*. EPA-450/4-81-026d (revised). United States Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan.

U.S. EPA, 1994. *MOBILE5a User's Guide*, United States Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan. November 1994.

U.S. EPA, 1995. *PART5 User's Guide*, United States Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan, May 1995.

Watson, J.G., J.A. Cooper, and J.J. Huntzicker, 1984. "The Effective Variance Weighting for Least Squares Calculations applied to the Mass Balance Receptor Model." *Atmospheric Environment*, 18:1347-1355.

Apéndice A – Ejemplo del Cálculo de Emisiones de Vehículos Automotores

Apéndice A – Ejemplo del Cálculo de Emisiones de Vehículos Automotores

Objetivo – Ejemplificar la estimación de las emisiones de los vehículos automotores utilizando modelos de factor de emisión y balances de masa. En este ejemplo se estimarán las emisiones de gas orgánico total (GOT) y óxidos de azufre ($SO_{x)}$.

Descripción – Este ejemplo de cálculo se basa en las estimaciones de emisión reales efectuadas para un inventario de tóxicos del aire en la ciudad de Nogales, Sonora, México (Radian, 1997). Se estimaron las emisiones para cuatro clases de vehículos a gasolina: vehículos ligeros (LDGV), camiones ligeros (LDGT), vehículos pesados (HDGV) y motocicletas (MC).

Las emisiones de GOT fueron calculadas como paso intermedio previo a la especiación de tóxicos del aire. Los factores de emisión de GOT se calcularon utilizando el modelo MOBILE-Juárez (que es un modelo MOBILE5a modificado desarrollado con los datos para Ciudad Juárez). Las emisiones de SO_x no fueron calculadas como parte del inventario de tóxicos del aire, sin embargo, pueden ser derivados fácilmente a partir de las estadísticas de consumo de combustible.

Se ha supuesto que las estadísticas de combustible de Pemex que se manejaron representan el combustible que es utilizado por los vehículos mexicanos en Nogales, Sonora. Si bien no es totalmente cierto, este supuesto fue una simplificación necesaria para el inventario de tóxicos del aire. Los cálculos del rendimiento promedio de combustible del parque vehicular y la distribución de los kilómetros recorridos por vehículo (KRVs) por tipo de camino son demasiado complejos para este ejemplo de cálculo y no han sido incorporados. Este ejemplo sólo incluye los resultados del rendimiento promedio de combustible del parque vehicular y la distribución de los KRVs.

Emisiones de GOT – Estimación de los Factores de Emisión

Paso 1: Construcción del archivo de entrada del MOBILE-Juárez.
La Figura A-1 presenta el archivo elaborado para el escenario de primavera en Nogales, Sonora. Con el objetivo de tomar en cuenta los cambios de temperatura de una estación a otra, se generaron cuatro archivos de entrada separados para la primavera, verano, otoño e invierno. En general, los escenarios estacionales son opcionales. Cada renglón del archivo de entrada se explica brevemente en la Tabla A-1. Los números de renglones incluidos en la Figura A-1 no son parte del archivo de entrada real, sino que son utilizados como referencia.

Paso 2: Correr el modelo MOBILE-Juárez.

Paso 3: Extraer los factores de emisión del archivo de salida del MOBILE-Juárez. La parte del archivo de salida resultante que contiene los factores de emisión para el escenario de primavera en Nogales, Sonora se muestra en la Figura A-2, que indica los factores de emisión para cada velocidad y clase vehicular.

LINEA #			
			Sección de Control
1	1	PROMPT	
2	MOBILE-Juárez - Nogales, Sonora - Spring *(primavera)*		
3	1	TAMFGL	
4	1	SPDFGL	
5	3	VMFLAG	
6	1	MYMRFG	
7	5	NEWFLG	
8	1	IMFLAG	
9	1	ALHFLG	
10	1	ATPFLG	
11	5	RLFLAG	
12	1	LOCFLG	
13	1	TEMFLAG	
14	4	OUTFMT	
15	1	PRTFLG	
16	1	IDLFLG	
17	4	NMHFLG	
18	3	HCFLAG	
19	.611.242.066.056.000.000.019.006		***Sección de Datos de Un Paso***
20	1 94 24.1 25.0 19.6 19.7 30.0 1		***Sección del Escenario***
21	Nogales Spring A 3.6 25.4 09.5 09.5 93 1 1 1		
22	1 94 40.2 25.0 19.6 19.7 30.0 1		
23	Nogales Spring A 3.6 25.4 09.5 09.5 93 1 1 1		
24	1 94 56.3 25.0 19.6 19.7 30.0 1		
25	Nogales Spring A 3.6 25.4 09.5 09.5 93 1 1 1		

Figura A-1. Archivo de Entrada en el Modelo MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

0Emission	factors	are	as	of	Jan.	1st	of	the	indicated	calendar	year.	
0Cal.	Year:	1994	Region:	Low	Altitude:	500	Ft.					
	I/M	Program:	No	Ambient	Temp:	18.8	(C)					
	Anti-tam.	Program:	No	Operating	Mode:	19.6	/	19.7	/	30		
	Reformulated	Gas:	No									
0Nogales	Spring											
	Minimum	Temp:	4	(C)	Maximum	Temp:	25	(C)				
	Period	1	RVP:	9.5	Period	2	RVP:	9.5	Period	2	Yr:	1993
0Veh.	Type:		LDGV	LDGT1	LDGT2	LDGT	HDGV	LDDV	LDDT	HDDV	MC	All
+												
	Spd	Km/hr:	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1		
	VMT	Mix:	0.611	0.242	0.066		0.056	0	0	0.019	0.006	
0Composit	Emission	Factors	(grams/kilometer)									
	TOG	HC:	8.17	7.63	9.53	8.04	11.5	0.71	0.82	3.39	6.92	8.22
	Exhst	HC:	5.83	5.4	6.51	5.64	7.46	0.71	0.82	3.39	4.36	5.8
	Evap.	HC:	1.47	1.45	1.93	1.56	2.55				2.29	1.53
	Refuel	HC:	0	0	0	0	0	0				
	Runing	HC:	0.78	0.71	1.04	0.78	1.42					0.8
	Rsting	HC:	0.09	0.07	0.05	0.07	0.07				0.27	0.08

0Emission	factors	are	as	of	Jan.	1st	of	the	indicated	calendar	year.	
0Cal.	Year:	1994	Region:	Low	Altitude:	500	Ft.					
	I/M	Program:	No	Ambient	Temp:	18.8	(C)					
	Anti-tam.	Program:	No	Operating	Mode:	19.6	/	19.7	/	30		
	Reformulated	Gas:	No									
0Nogales	Spring											
	Minimum	Temp:	4	(C)	Maximum	Temp:	25	(C)				
	Period	1	RVP:	9.5	Period	2	RVP:	9.5	Period	2	Yr:	1993
0Veh.	Type:		LDGV	LDGT1	LDGT2	LDGT	HDGV	LDDV	LDDT	HDDV	MC	All
+												
	Spd	Km/hr:	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2		
	VMT	Mix:	0.611	0.242	0.066		0.056	0	0	0.019	0.006	
0Composit	Emission	Factors	(grams/kilometer)									
	TOG	HC:	5.79	5.49	6.92	5.8	7.41	0.49	0.56	2.33	5.6	5.82
	Exhst	HC:	3.79	3.59	4.34	3.75	3.94	0.49	0.56	2.33	3.03	3.75
	Evap.	HC:	1.47	1.45	1.93	1.56	2.55				2.29	1.53
	Refuel	HC:	0	0	0	0	0	0				
	Runing	HC:	0.44	0.38	0.59	0.43	0.85					0.45
	Rsting	HC:	0.09	0.07	0.05	0.07	0.07				0.27	0.08

Figura A-2Archivo de Salida del Modelo MOBILE-Juarez para Nogales, Sonora

0Emission	factors	are	as	of	Jan.	1st	of	the	indicated	calendar	year.	
0Cal.	Year:	1994	Region:	Low	Altitude:	500	Ft.					
	I/M	Program:	No	Ambient	Temp:	18.8	(C)					
	Anti-tam.	Program:	No	Operating	Mode:	19.6	/	19.7	/	30		
	Reformulated	Gas:	No									
0Nogales	Spring											
	Minimum	Temp:	4	(C)	Maximum	Temp:	25	(C)				
	Period	1	RVP:	9.5	Period	2	RVP:	9.5	Period	2	Yr:	1993
0Veh.	Type:		LDGV	LDGT1	LDGT2	LDGT	HDGV	LDDV	LDDT	HDDV	MC	All
+												
	Spd	Km/hr:	56.3	56.3	56.3	56.3	56.3	56.3	56.3	56.3		
	VMT	Mix:	0.611	0.242	0.066		0.056	0	0	0.019	0.006	
0Composit	Emission	Factors	(grams/kilometer)									
	TOG	HC:	4.65	4.45	5.7	4.71	5.68	0.37	0.42	1.75	4.92	4.67
	Exhst	HC:	2.78	2.65	3.29	2.79	2.46	0.37	0.42	1.75	2.36	2.74
	Evap.	HC:	1.47	1.45	1.93	1.56	2.55				2.29	1.53
	Refuel	HC:	0	0	0	0	0	0				
	Runing	HC:	0.31	0.27	0.42	0.3	0.6					0.32
	Rsting	HC:	0.09	0.07	0.05	0.07	0.07				0.27	0.08

Figura A-2Archivo de Salida del Modelo MOBILE-Juarez para Nogales, Sonora (Cont.)

Paso 4: Calcular los factores de emisión promedio anuales. Estos se calculan utilizando los factores de emisión de primavera mostrados en la Figura A-2, así como los factores de emisión para las otras tres estaciones, que no se muestran aquí. Este cálculo se resume en la Tabla A-2.

Emisiones de GOT – Estimación de los KRV

Paso 1: Calcular el consumo total de combustible. Las estadísticas mensuales de consumo de combustible para 1994 fueron obtenidas de Pemex. Los totales anuales se calculan en la Tabla A-3. El consumo total de gasolina sin plomo fue de 51,169,901 litros, mientras que el de gasolina con plomo fue de 10,571,891 litros. El consumo general total de gasolina fue de 61,741,792 litros.

Paso 2: Calcular los KRV. Utilizando los datos del registro, la acumulación de millaje (por modelo y año) del modelo MOBILE-Juárez y los rendimientos del combustible del modelo (año) estadounidenses, se determinó que el rendimiento del combustible del parque vehicular de 1994 en el área de estudio fue de 6.788 kilómetros por litro de gasolina. Al dividir el consumo general total de gasolina entre esta cifra se obtiene un KRV total de aproximadamente 419,100,000 para Nogales, Sonora.

Paso 3: Distribuir el KRV por clase vehicular. La mezcla KRV general de Ciudad Juárez indica lo siguiente: LDGV - 61.1% del KRV total; LDGT - 30.8%, HDGV - 5.6%, y MC - 0.6%. Sin embargo, esta mezcla también incluye el KRV de los vehículos a diesel. Al hacer la normalización para gasolina, los resultados son los siguientes: LDGV - 62.3% del KRV de gasolina; LDGT - 31.4%, HDGV - 5.7% y MC - 0.6%. Después de aplicar esta fracción KRV normializada, el KRV total se divide en las clases vehiculares como se muestra a continuación:

LDGV	261,100,000 KRV
LDGT	131,600,000 KRV
HDGV	23,900,000 KRV
MC	2,500,000 KRV

Paso 4: Distribuir el KRV por la velocidad vehicular. Basado en una visita al sitio en Nogales, Sonora y en el juicio ingenieril, se estimó que 23.3% de todos los KRV se presentaron a 24.1 kilómetros por hora (15 mph), 70.0% a 40.2 kilómetros por hora (25 mph), y 6.7% a 56.3 kilómetros por hora (35 mph). La distribución de KRV por velocidad vehicular se muestra en la Tabla A-4.

Emisiones de GOT – Cálculo de las Emisiones

Como se indicó en la Sección 2.1 de este manual, las emisiones de GOTs son calculadas multiplicando el factor de emisión MOBILE-Juárez por el KRV estimado. Esto se muestra en la Tabla A-4 para cada clase vehicular y para cada una de las tres velocidades vehiculares. Las emisiones GOT totales para vehículos a gasolina también han sido sumadas en la parte inferior de la Tabla A-4.

Las emisiones de GOT totales se estimaron en 2,866 Mg/año ó 7.85 Mg/día.

Emisiones de SO_x – Cálculo de las Emisiones

Como se indicó en la Sección 2.1 de este manual, las emisiones de SO_x son estimadas utilizando el balance de combustible.

Paso 1: Obtener las estadísticas del consumo de combustible. A partir del cálculo de las emisiones de GOTs anteriores, se determinó el consumo de 51,169,901 litros de gasolina sin plomo, y 10,571,891 litros de gasolina con plomo.

Paso 2: Obtener el contenido de azufre del combustible. A partir de las especificaciones para combustibles de Pemex, el máximo contenido de azufre para la gasolina sin plomo es de 0.1% (en peso), y para la gasolina con plomo es 0.15% (en peso).

Paso 3: Determinar la densidad de la gasolina. Con base en la experiencia previa, una densidad típica de la gasolina es de 0.731 kg/litro (6.09 lbs/galón).

Aplicando la ecuación de balance de combustible para el SO_x (ver Ecuación 2-2 de este manual):

$$E_{SinPlomo} = (51{,}169{,}901\,\text{litro}) \times (0.731\,\text{kg/litro}) \times 0.001 \times 2 = 74{,}810\,\text{kg}\ SO_x = 74.8\,\text{Mg}\ SO_x$$

$$E_{ConPlomo} = (10{,}571{,}891\,\text{litro}) \times (0.731\,\text{kg/litro}) \times 0.0015 \times 2 = 23{,}184\,\text{kg}\ SO_x = 23.2\,\text{Mg}\ SO_x$$

Las emisiones totales de SO_x son de 98 Mg/año ó 0.268 Mg/día.

Tabla A-1
Explicación del Archivo de Entrada del MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

Número de Renglón	Elemento de los Datos	Explicación	Comentarios
1	1	Bandera PROMPT – Entrada de datos capturada sin activar el formato vertical.	También conocida como entrada del lote del archivo. Se recomienda incluir esta opción.
2	Renglón Completo	PROJID – Identificación del archivo de entrada.	Ninguno.
3	1	TAMFLG – Tasas de alteración por omisión usadas en el MOBILE-Juarez.	Esta opción debe ser utilizada a menos que se haya realizado un estudio de alteración local.
4	1	SPDFLG – Una velocidad promedio para todos los tipos de vehículos para cada Registro Descriptivo del Escenario *(Scenario Descriptive Record)*.	Esta opción debe ser utilizada a menos que exista información detallada sobre la velocidad de transporte
5	3	VMFLAG – Una mezcla KRV asignada a todos los escenarios.	Se supone que la mezcla de KRVs de Ciudad Juárez/El Paso es aplicable para Nogales, Sonora.
6	1	MYMRFG – Tasas de acumulación de millaje por omisión y distribuciones del registro utilizadas para el MOBILE-Juarez.	Esta opción debe ser utilizada a menos que se tengan recopilados los datos locales de acumulación de millaje y distribución del registro.
7	5	NEWFLG – BERs del MOBILE-Juarez utilizadas con todos los nuevos requerimientos de la Clean Air Act *(Ley de Aire Limpio)* desactivados.	Esta opción debe ser utilizada para todas las aplicaciones del modelo MOBILE-Juarez.

Tabla A-1 (Cont.)
Explicación del Archivo de Entrada del MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

Número de Renglón	Elemento de los Datos	Explicación	Comentarios
8	1	IMFLAG – No hay programas de inspección y mantenimiento (I/M) que deban ser modelados.	Esta opción debe ser utilizada a menos que se haya instrumentado un programa I/M.
9	1	ALHFLG – No se hicieron correcciones para el uso de aire acondicionado, carga extra del vehículo, arrastre de trailers y humedad.	Esta opción debe ser usada normalmente.
10	1	ATPFLG – No hay programa anti-alteración (ATP) que deba ser modelado.	Esta opción debe ser utilizada a menos que un programa ATP haya sido instrumentado.
11	5	RLFLAG – No se calcularon los factores de emisión de carga de combustible	Esta opción debe ser utilizada a menos que las emisiones por carga de combustible no hayan sido estimadas como fuente de área.
12	1	LOCFLG – Un registro de Parámetro Local de Area *(Local Area Parameter)* (LAP) para cada escenario.	Esta opción es utilizada típicamente.
13	1	TEMFLG – Factores de emisión ajustados utilizando las temperaturas diarias mínimas y máximas.	Esta opción debe ser utilizada a menos que las temperaturas mínimas y máximas diarias no estén disponibles.
14	4	OUTFMT – Formato de salida descriptivo de 80 columnas.	El modelo MOBILE-Juarez ha sido adaptado para aceptar sólo esta opción.
15	1	PRTFLG – Sólo los factores de emisión de hidrocarburos han sido incluidos en la salida.	Esta opción fue seleccionada para cumplir con los requerimientos del inventario de tóxicos del aire de Nogales.

Tabla A-1 (Cont.)
Explicación del Archivo de Entrada del MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

Número de Renglón	Elemento de los Datos	Explicación	Comentarios
16	1	IDLFLG – No se calcularon factores de emisión en reposo.	Esta opción debe ser utilizada normalmente.
17	4	NMHFLG – Factores de emisión de hidrocarburos como gases orgánicos totales (GOTs).	Esta opción debe ser utilizada normalmente.
18	3	HCFLAG – Los factores de emisiones evaporativas totales, por componente y detallados, han sido incluidos en la salida.	Esta opción debe ser utilizada normalmente.
19	.611	Fracción de los KRVs para vehículos ligeros a gasolina (LDGV).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
	.242	Fracción de los KRVs para camiones ligeros a gasolina <2,727 kg (LDGT1).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
	.066	Fracción de los KRVs para camiones ligeros a gasolina >2,727 kg y <3,857 kg (LDGT2).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
	.056	Fracción de los KRVs para vehículos pesados a gasolina >3,857 kg (HDGV).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
	.000	Fracción de los KRVs para vehículos ligeros a diesel (LDDV).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.

Tabla A-1 (Cont.)
Explicación del Archivo de Entrada del MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

Número de Renglón	Elemento de los Datos	Explicación	Comentarios
19 (Cont.)	.000	Fracción de los KRVs para camiones ligeros a diesel <3,857 kg (LDDT).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
	.019	Fracción de los KRVs para vehículos pesados a diesel >3,857 kg (HDDV).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
	.006	Fracción de los KRVs para motocicletas (MC).	Fracción de los KRVs estimada para Ciudad Juárez y supuestamente aplicable para Nogales, Sonora.
20	1	Región de baja altitud.	Esta opción debe ser utilizada excepto para regiones de altitud elevada (>1,676 metros sobre el nivel del mar).
	94	Año de inventario 1994.	El año de inventario para el inventario de Nogales, Sonora. Este dato variará dependiendo del año de inventario.
	24.1	Velocidad vehicular de 24.1 kilómetros por hora (15 millas por hora).	Una de las velocidades vehiculares estimadas para Nogales, Sonora durante una visita al sitio. Para el MOBILE-Juarez, este valor debe estar en unidades de kilómetros por hora.
	25.0	Temperatura ambiente.	Típicamente esta temperatura no es utilizada, debido a que la TEMFLG (ver renglón número 13) está ajustada a “1”. Sin embargo, la temperatura ambiente debe estar ajustada entre las temperaturas diarias mínima y máxima. El valor de 25.0 °C fue elegido arbitrariamente. Para el MOBILE-Juarez, este valor debe estar en °C.

Tabla A-1 (Cont.)
Explicación del Archivo de Entrada del MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

Número de Renglón	Elemento de los Datos	Explicación	Comentarios
20 (Cont.)	19.6	Variable del modo de operación PCCN.	Variables de los modos de operación estimadas para Ciudad Juárez supuestamente aplicables para Nogales, Sonora.
	19.7	Variable del modo de operación PCHC.	Variables de los modos de operación estimadas para Ciudad Juárez supuestamente aplicables para Nogales, Sonora.
	30.0	Variable del modo de operación PCCC.	Variables de los modos de operación estimadas para Ciudad Juárez supuestamente aplicables para Nogales, Sonora.
	1	Factores de emisión calculados para el mes de enero del año de inventario.	Esta opción debe ser utilizada normalmente.
21	Primavera de Nogales	Nombre del escenario.	Ninguno.
	A	Clase de volatilidad del combustible.	Esta opción debe ser utilizada normalmente.
	3.6	Temperatura diaria mínima.	Temperatura mínima promedio para marzo, abril y mayo, obtenida de los datos meteorológicos de Nogales, Arizona. Para el MOBILE-Juarez, este valor debe estar en °C.
	25.4	Temperatura diaria máxima.	Temperatura máxima promedio para marzo, abril y mayo, obtenida de los datos meteorológicos de Nogales, Arizona. Para el MOBILE-Juarez, este valor debe estar en °C.
	09.5	PVR Periodo 1.	Límite superior del espectro PVR de Pemex que se supone aplicable para Nogales, Sonora.
	09.5	PVR Periodo 2.	Límite superior del espectro PVR de Pemex que se supone aplicable para Nogales, Sonora.

Tabla A-1 (Cont.)
Explicación del Archivo de Entrada del MOBILE-Juárez para Nogales, Sonora

Número de Renglón	Elemento de los Datos	Explicación	Comentarios
21 (Cont.)	93	Año de inicio del Periodo 2.	Debido a que los PVRs de los periodos 1 y 2 son idénticos, no se utilizó el año de inicio del Periodo 2. El valor capturado 93 es arbitrario.
	1	Bandera de combustible oxigenado.	Esta opción debe ser utilizada a menos que los combustibles oxigenados deban ser modelados en la región.
	1	Bandera de la fracción de ventas de diesel.	Esta opción debe ser utilizada a menos que se apliquen fracciones alternas a la venta de diesel.
	1	Bandera de gasolina reformulada.	Esta opción debe ser utilizada a menos que los efectos de la gasolina reformulada deban ser modelados.
22	Renglón completo	Idéntico al Registro Descriptivo del Escenario presentado en el Renglón 20, excepto que la velocidad del vehículo ha sido cambiada a 40.2 kilómetros por hora.	Ninguno.
23	Renglón completo	Idéntico al Registro de Parámetro de Area Local presentado en el Renglón 21.	Ninguno.
24	Renglón completo	Idéntico al Registro Descriptivo del Escenario presentado en el Renglón 20, excepto que la velocidad del vehículo ha sido cambiada a 56.3 kilómetros por hora.	Ninguno.
25	Renglón completo	Idéntico al Registro de Parámetro de Area Local presentado en el Renglón 21.	Ninguno.

Tabla A-2
Cálculo de los Factores de Emisión de GOT Anuales (g/km) para, Sonora

Clase Vehicular	Velocidad (kph)	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Promedio
LDGV	24.1	8.17	9.93	8.20	8.45	8.69
	40.2	5.79	7.35	5.90	5.84	6.22
	56.3	4.65	6.15	4.80	4.57	5.04
LDGT	24.1	8.04	9.54	8.07	8.28	8.48
	40.2	5.80	7.20	5.89	5.87	6.19
	56.3	4.71	6.08	4.84	4.68	5.08
HDGV	24.1	11.50	16.36	12.10	10.58	12.64
	40.2	7.41	11.76	8.05	6.45	8.42
	56.3	5.68	9.82	6.34	4.70	6.64
MC	24.1	6.92	8.91	7.32	6.03	7.30
	40.2	5.60	7.65	6.03	4.58	5.97
	56.3	4.92	7.02	5.37	3.85	5.29

Tabla A-3
Estadísticas del Consumo de Combustible en Nogales, Sonora para 1994

Mes	Magna Sin (Sin Plomo) (Litros)	Nova Plus (Con Plomo) (Litros)
Enero	3,510,000	1,348,600
Febrero	3,464,800	1,246,800
Marzo	3,990,000	1,461,500
Abril	3,830,000	932,500
Mayo	4,180,000	992,500
Junio	4,141,930	751,645
Julio	4,238,970	689,935
Agosto	4,724,500	719,761
Septiembre	4,575,179	607,200
Octubre	4,489,828	621,450
Noviembre	4,794,593	615,000
Diciembre	5,230,101	585,000
Total	**51,169,901**	**10,571,891**

Tabla A-4
Cálculo de las Emisiones Anuales de GOTs (Mg) para Nogales, Sonora

Clase Vehicular	Velocidad (kph)	Factor de Emisión (g/km)	KRV	Emisiones (Mg/yr)
LDGV	24.1	8.69	60,836,300	528.7
	40.2	6.22	182,770,000	1136.8
	56.3	5.04	17,493,700	88.2
LDGT	24.1	8.48	30,662,800	260.0
	40.2	6.19	92,120,000	570.2
	56.3	5.08	8,817,200	44.8
HDGV	24.1	12.64	5,568,700	70.4
	40.2	8.42	16,730,000	140.9
	56.3	6.64	1,601,300	10.6
MC	24.1	7.30	582,500	4.3
	40.2	5.97	1,750,000	10.4
	56.3	5.29	167,500	0.9
Total	**-**	**-**	**419,100,000**	**2,866.2**